Die manometrischen Flammen;
von Dr. Rudolph König in Paris.

Zu Anfang des Jahres 1862 ersann ich eine neue Beobachtungsmethode, welche zum Zwecke hatte, die tönenden Luftwellen, oder, was dasselbe ist, den wechselnden Dichtigkeitszustand der Luft, während dieselbe von tönenden Schwingungen durchflossen ist, oder während sie sich selbst in Schwingungen befindet, in der Weise zur Anschauung zu bringen, wie die anderen bis dahin in der Akustik gebräuchlichen Beobachtungsmethoden gestatten die Schwingungen der Körper zu untersuchen, durch welche diese Luftwellen erregt werden. Der erste Apparat, bei welchem ich diese Methode anwendete, figurirte schon auf der Londoner Ausstellung 1862, seit jener Zeit gründete ich jedoch eine ganze Reihe von Apparaten auf dieselbe, von denen einige schon in den Annalen von Poggendorff (Bd. CXXII, S. 242 u. 660; 1864), andere auch in meinem Katalog 1865 kurz beschrieben wurden. Folgende Zeilen haben nun den Zweck, alle diese Apparate, wie diejenigen, welche seit der Veröffentlichung des Katalogs hinzugekommen sind, und die Experimente, welche sich mit denselben ausführen lassen, im Zusammenhange darzustellen.

Die kleine Vorrichtung, auf deren Anwendung meine Methode beruht und welcher ich den Namen „manometrische Kapsel" gegeben habe, besteht in einer in einem Holzplättchen befindlichen Höhlung, deren Oeffnung durch eine dünne Membrane verschlossen ist. In diese Höhlung kann durch eine Röhre Leuchtgas eingeführt werden, wel-

ches durch eine zweite Röhre, die in einem Gasbrenner endet, wieder ausströmt und dort angezündet wird. Wenn sich die Luft nun plötzlich vor der Membrane verdichtet, so wird diese natürlich in die Höhlung hineingetrieben, somit auf das in letzterer befindliche Gas ein Druck ausgeübt und die Flamme in die Höhe geschnellt. Verdünnt sich die Luft plötzlich vor der Membrane, so wird diese schnell nach aufsen gezogen, der Raum in der Kapsel momentan vergröfsert, das Gas in derselben verdünnt und somit die Flamme herabgezogen.

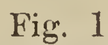
Eine Membrane besitzt bekanntlich, wie jeder andere elastische Körper, nur eine bestimmte Reihe von Eigentönen, und so könnte man auf die Vermuthung kommen, dafs sich auch die manometrische Kapsel nur in den Fällen wirksam beweisen werde, wenn der auf sie wirkende Ton mit einem der Eigentöne ihrer Membrane übereinstimmt, dem ist jedoch nicht so, denn aufser den Schwingungen, welche ein Körper unter dem Einflusse seiner Elasticität ausführt, kann ihm natürlich jede beliebige Bewegung gleichsam aufgezwungen werden, wenn nur die auf ihn wirkende Kraft bedeutend gröfser ist, als der Widerstand, welchen er denselben entgegenzusetzen im Stande ist. Nehmen wir z. B. eine lange, dünne, auf den Grundton von 100 Schwingungen gestimmte Saite und setzen ihre Mitte in feste Verbindung mit der Zinke einer sehr starken, massiven Stimmgabel von 110 Schwingungen, so wird sie offenbar, wenn letztere vibrirt, 110 mal hin- und hergezogen werden, obgleich sie ihrer Natur nach nur 100, 200, 300 usw. Schwingungen ausführen könnte. Eigentlich schwingt sie also in diesem Falle nicht, sondern wird nur mechanisch hin- und hergezogen, und dieses ist auch der Fall mit der manometrischen Kapsel, da sie so construirt ist, dafs ihr Widerstand gegen die auf sie wirkenden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft als verschwindend klein betrachtet werden können. Ein und dieselbe Kapsel zeigt sich daher in der That für jeden beliebigen Ton gleich wirksam, wie auch

verschiedene Kapseln, deren Membranen durchaus nicht gleich gestimmt sind, unter dem Einflusse desselben Tones gleiche Resultate geben.

Wenn man von mehreren Kapseln, welche zugleich aus demselben Gasbehälter alimentirt werden, eine in Wirksamkeit versetzt, so sieht man, dafs auch die Flammen aller anderen in Bewegung gerathen. Wird nämlich die Membrane in ihre Kapsel hineingedrückt, so treibt der auf das Gas ausgeübte Druck nicht allein durch die Ausflufsröhre die Flamme in die Höhe, sondern er pflanzt sich auch durch die Zuflufsröhre bis in den gemeinsamen Gasbehälter und von diesem bis in die andern Kapseln fort, deren Flammen er gleichfalls, wenn auch schwächer, verlängert. Bei der entgegengesetzten Bewegung der Membrane ist denn diese fortgeleitete Wirkung natürlich auch die entgegengesetzte. Sollen daher mehrere Kapseln zugleich angewendet werden, so mufs vor allen Dingen diese wechselseitige Einwirkung derselben auf einander beseitigt werden. Ich suchte diesen Zweck zuerst dadurch zu erreichen, dafs ich zwischen den Gasbehälter und die Kapseln lange, dünne Kautschukröhren einschaltete, deren Wirkung sich jedoch noch nicht als ganz genügend erwies. Vollständig erreichte ich aber meinen Zweck durch die Anwendung von Hülfskapseln, durch welche ich das aus dem gemeinsamen Behälter kommende Gas strömen liefs, ehe ich es in die manometrischen Kapseln leitete. Sie sind ähnlich wie diese letzteren construirt, und jede besteht einfach in einer Höhlung, die durch eine sehr dünne Membrane verschlossen ist. Pflanzt sich nun der im Gas einer manometrischen Kapsel entstandene Druck durch die Zuflufsröhre nach dem Gasbehälter zu fort, so wird er beim Eintritt in die Hülfskapsel dadurch zerstört, dafs die Membrane derselben ihm weicht. Die Praxis zeigt auch, dafs man in der That eine von mehreren in der angegebenen Weise von einander isolirten Flammen in die stärkste Bewegung versetzen kann, ohne die übrigen im Geringsten zu beeinflussen.

Nachweis des verschiedenen Verhaltens der Luft in den Knotenstellen und in den Bäuchen einer tönenden Luftsäule.

Um zuerst den wechselnden Dichtigkeitszustand der Luft in den Knotenstellen und den unveränderten in den Bäuchen einer tönenden Luftsäule im Allgemeinen darzustellen, wende ich eine offene Orgelpfeife an, welche so construirt ist, dafs man mit Leichtigkeit nach Belieben entweder ihren Grundton oder den ersten harmonischen Ton, die Octave, ansprechen lassen kann (Fig. 1). An der Knotenstelle des Grundtones und den beiden Knotenstellen der Octave befinden sich in der einen Seitenwand der Pfeife drei Löcher, über denen drei manometrische Kapseln so angebracht sind, dafs die Oeffnungen gerade von den Membranen, deren Durchmesser sie haben, geschlossen werden. Ein gemeinsamer mit Hülfskapseln versehener Behälter alimentirt die drei Flammen, deren Länge durch Hähne regulirt werden kann.



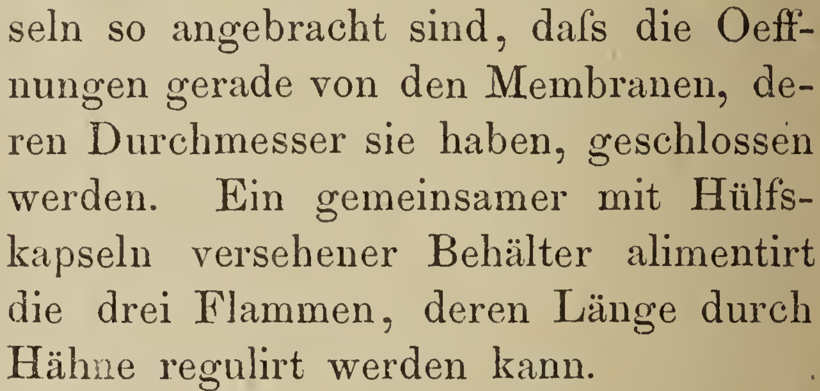


Fig. 1

Giebt man nun den drei Flammen eine gleiche Höhe von 15 bis 20^{mm} und bläst die Octave an, so werden die beiden äufsersten in so heftige Bewegung versetzt, dafs sie verlängert, schmal und ganz blau ohne Leuchtkraft erscheinen, wegen der beträchtlichen Menge Luft, welche sie beim Auf- und Niederzucken mitreifsen, während die mittlere Flamme fast vollständig ruhig und leuchtend bleibt, da sie sich an der Stelle eines Bauches befindet, wo die Luft nur hin- und hergleitet. Beim Tönen des Grundtons ist die Mittelflamme im Knoten und daher stark bewegt, die beiden äufseren, welche sich zwischen diesem und den Bäuchen an den Enden der Röhre befinden, zeigen eine schwächere Bewe-

gung und da es sich in diesem Falle nur um Unterschiede in der Intensität der Bewegung der einzelnen Flammen handelt, bedient man sich hier besser kleinerer Flammen, wo denn die mittlere ganz blau wird, während die äufseren noch gelbe Köpfchen behalten. Giebt man den Flammen eine Länge von nur 8 bis 10^{mm}, so geht beim Grundtone die mittlere Flamme aus, während beim Anblasen der Octave die Seitenflammen erlöschen.

Diese Experimente lassen sich auch mit einer gedeckten Orgelpfeife ausführen, welche den Grundton und ihren ersten Oberton hören lassen kann. Es mufs sich dann eine der Flammen am Ende der Röhre befinden, wo sowohl der Knoten des Grundtones, als auch einer der Knoten des Obertones liegt. Bei geringer Länge der Flamme geht, wenn der Grundton angeblasen wird, zuerst die Endflamme aus und darauf die mittlere, weil diese der Knotenstelle noch näher liegt, als dem Bauche am Munde der Pfeife. Beim Tönen des ersten Obertons, der Duodecime des Grundtones, bleibt aber wieder die Mittelflamme unverändert, während die beiden äufseren erlöschen.

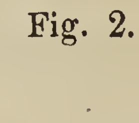
Vergleichung und Combination mehrerer Töne.

Diese Experimente zeigten nur Gesammtwirkungen ganzer Reihen aufeinanderfolgender Vibrationen, läfst man jedoch das Bild der Flammen auf einen drehenden Spiegel fallen, so erscheinen in demselben alle Phasen ihrer Bewegungen nebeneinander, und man kann dann nicht nur die Anzahl der Schwingungen und Verhältnifszahlen verschiedener Töne untersuchen, sondern auch die aus der Combination mehrerer Töne entstandenen Bilder beobachten.

Der Apparat, welcher für diese Untersuchungen dient, besteht aus einer Reihe von Orgelpfeifen, von denen jede im Knotenpunkte ihres Grundtons mit einer manometrischen Kapsel versehen ist, die vermittelst einer Kautschukröhre mit Gasbrennern, welche auf einem besondern

Ständer angebracht sind, in Verbindung gesetzt werden kann (Fig. 2). Vor diesen Gasbrennern kommt ein aus vier platinirten Glasplatten zusammengesetzter drehender Spiegel zu stehen. Die platinirte Seite der Glasplatten ist nach aufsen gekehrt, um die durch Reflexion von beiden Oberflächen der Glastafeln entstehenden störenden Doppelbilder der gewöhnlichen Spiegel zu vermeiden. Eine kleine Windlade zur Aufnahme von je zwei Orgelpfeifen zeigt zwei Ansatzröhren, von denen die gröfsere dazu dient den Wind aus irgend einem Blasebalg einzuleiten. Durch die dünnere wird das Gas in einen gemeinsamen Behälter

Fig. 2.



eingeführt, der mit zwei Hähnen versehen ist, welche man vermittelst Kautschukröhren mit den Kapseln der Orgelpfeifen verbindet.

Das Bild einer ruhigen Flamme zeigt im drehenden Spiegel einen Lichtstreifen von der Breite der Flammenhöhe; läſst man aber die Orgelpfeife ertönen, welche mit ihr in Verbindung steht, so erscheint an Stelle dieses Streifens eine Reihe regelmäſsig aufeinander folgender Flammenbilder, deren Spitzen nach der entgegengesetzten Richtung umgebogen sind, als nach welcher der Spiegel gedreht wird. Disponirt man zwei Brenner in der Weise, daſs ihre Bilder im Spiegel zwei Streifen untereinander geben und setzt sie mit zwei Orgelpfeifen in Verbindung, welche miteinander das Intervall der Octave geben, so zeigt die dem höheren Tone zukommende Reihe gerade die doppelte Anzahl Flammen als die andere, wodurch sich das Schwingungsverhältniſs von 1 : 2 erweist (Fig. 3, Taf. II). Benutzt man Orgelpfeifen von anderen Intervallen, so erhält man bei der Quinte drei Flammen über zweien, bei der Quarte vier über dreien usw.

Die sehr groſse Schnelligkeit, mit welcher die Flammen ihre Bewegungen ausführen, bewirkt, daſs die Bilder im Spiegel auſserordentlich scharf gezeichnet erscheinen; da sie aber nur von geringer Dauer sind, so würde es doch schwer seyn, bei dieser Disposition des Experimentes geringe Abweichungen von der Reinheit der Intervalle zu beobachten, denn in der That, so leicht es zu erkennen ist, daſs in der einen der Reihen immer ungefähr zwei Flammen auf eine in der andern kommen, so schwer würde es seyn herauszufinden, daſs etwa zweihundert in einer immer mit hundert und einer in der andern zusammentreffen. Diese ganz genaue Beobachtung kann man jedoch mit der gröſsten Leichtigkeit vollziehen, wenn man die beiden Kapseln der betreffenden zwei Orgelpfeifen auf ein und dieselbe Flamme wirken läſst.

Tönen zwei genau in der Octave gestimmte Orgelpfeifen, während das Gas aus ihren beiden Kapseln in

denselben Brenner strömt, so hat die Flamme das directe Aussehen, als befände sich in ihr unbeweglich noch eine kleinere. Bei der geringsten Verstimmung geräth diese aber in Zuckungen und verlängert und verkürzt sich periodisch in der gröſseren. Jede dieser aus Auf- und Absteigen zusammengesetzten Doppelbewegungen zeigt eine Schwebung an, oder die Abweichung des höheren Tons um eine Doppelschwingung oder des tieferen um eine einfache Schwingung von dem reinen Intervalle der Octave.

Die Quinte (2 : 3) zeigt drei, die Quarte (3 : 4) vier, die Terz (4 : 5) fünf Flammengipfel übereinandergethürmt, deren gegenseitige Stellung zu einander bei vollkommener Reinheit der Intervalle unverändert bleibt, wogegen bei Abweichung von derselben unter ihnen eine Bewegung entsteht, die durch das Auf- und Absteigen jedes einzelnen Gipfels das Ansehen einer Wellenbewegung annimmt. Bei allen diesen Intervallen ist es noch leicht, die Flamme auf eine solche Länge einzustellen, daſs alle einzelnen Gipfel sehr deutlich hell und durch blaue, nicht leuchtende Theile der Flamme von einander getrennt erscheinen; werden jedoch die Schwingungsverhältnisse der beiden Töne verwickelter, so ist es oft schwer, sie alle genau beobachten zu können, aber auch selbst in diesem Falle zeigt die Flamme noch deutlich an, ob das Intervall rein oder verstimmt ist, da man nur zu sehen hat, ob in ihr überhaupt Ruhe oder Bewegung herrscht, was immer leicht ist.

Diese Fähigkeit der manometrischen Flamme, die geringsten Abweichungen von der Reinheit eines Intervalles anzuzeigen, macht, daſs sie in vielen Fällen zweckmäſsig beim Stimmen angewendet werden kann, da es durchaus nicht nöthig ist, daſs die beiden Töne, welche in ein bestimmtes Verhältniſs zu einander gebracht werden sollen, gerade durch Orgelpfeifen, die mit Kapseln versehen sind, hervorgebracht werden. Die Töne jeder Tonquelle können dienen, indem man sie vor zwei ihnen zukommenden Resonatoren hervorbringt, welche auf zwei manometrische

Kapseln wirken, deren Gasausflüsse in denselben Brenner münden. Am bequemsten ist wegen der leichten Uebersichtlichkeit 1 : 2, so daſs man am besten thut, wenn man eine Reihe Stimmgabeln auf denselben Ton stimmen will, die Vergleichungsgabel eine Octave höher oder tiefer zu wählen.

Will man den ganzen Schwingungsvorgang in den oben beschriebenen Flammen, auf welche zwei Töne zugleich wirken, beobachten, so muſs man wieder den drehenden Spiegel anwenden. Die reine Octave läſst in demselben eine Reihe Flammen sehen, in dem immer eine kürzere auf eine längere folgt, und diese kürzeren haben alle, wie auch die längeren unter sich gleiche Höhe (Fig. 4, Taf. II); finden jedoch Stöſse statt, so steigen und fallen die Gipfel der kleinen Flammen periodisch, wie auch die der gröſseren, doch sind diese Bewegungen entgegengesetzt, so daſs sich an den Stellen, an denen die groſsen Flammen am längsten sind, die kürzesten kleinen befinden, und umgekehrt, da die längsten kleinen sind, wo die groſsen am kürzesten werden. In der Fig. 4, Taf. II zeigt das Bild der Septime (8 : 15 oder 8 : 16 — 1) diesen Vorgang, wenn auch in sehr kurzer Periode. Die Quinte (2 : 3) zeigt eine Periode von drei, die Quarte (3 : 4) von vier, die Terz (4 : 5) von fünf und die Secunde (8 : 9) eine Periode von neun einmal in der Länge anwachsender und wieder abnehmender Flammen. Ist das Verhältniſs nicht von der Form $n : n \pm 1$, so findet auch in der ganzen Periode nicht nur ein Anwachsen und Niedersinken der Flammengipfel statt, sondern die letztere verbindende Curve zeigt so viele Erhöhungen und Vertiefungen als die Differenz zwischen den beiden Verhältniſszahlen beträgt. Als Beispiel kann das Bild der Sexte (3 : 5) (Fig. 4, Taf. II) dienen.

Je complicirter das Intervall der beiden Töne ist, desto sorgfältiger muſs man es erst in seiner vollkommenen Reinheit herzustellen suchen, bis beim directen Anblick keine Bewegung mehr in der Flamme zu sehen ist, weil sonst

die wiederkehrende Periode der Flammenbilder im Spiegel durch den Phasenwechsel beständige Veränderungen erleidet und es dann schwer ist dieselben gut zu übersehen. Noch mehr wird dieses genaue Stimmen der Töne zur Nothwendigkeit, wenn man mehr als zwei Töne zugleich combiniren will, indem man sie auf dieselbe Flamme wirken läſst. Man wird bei diesen Experimenten übrigens bemerken, wie schwer es ist mit Orgelpfeifen absolut constante Töne zu erhalten, selbst wenn man sich eines gut regulirten Blasewerkes bedient.

Coëxistenz zweier Töne in derselben Luftsäule.

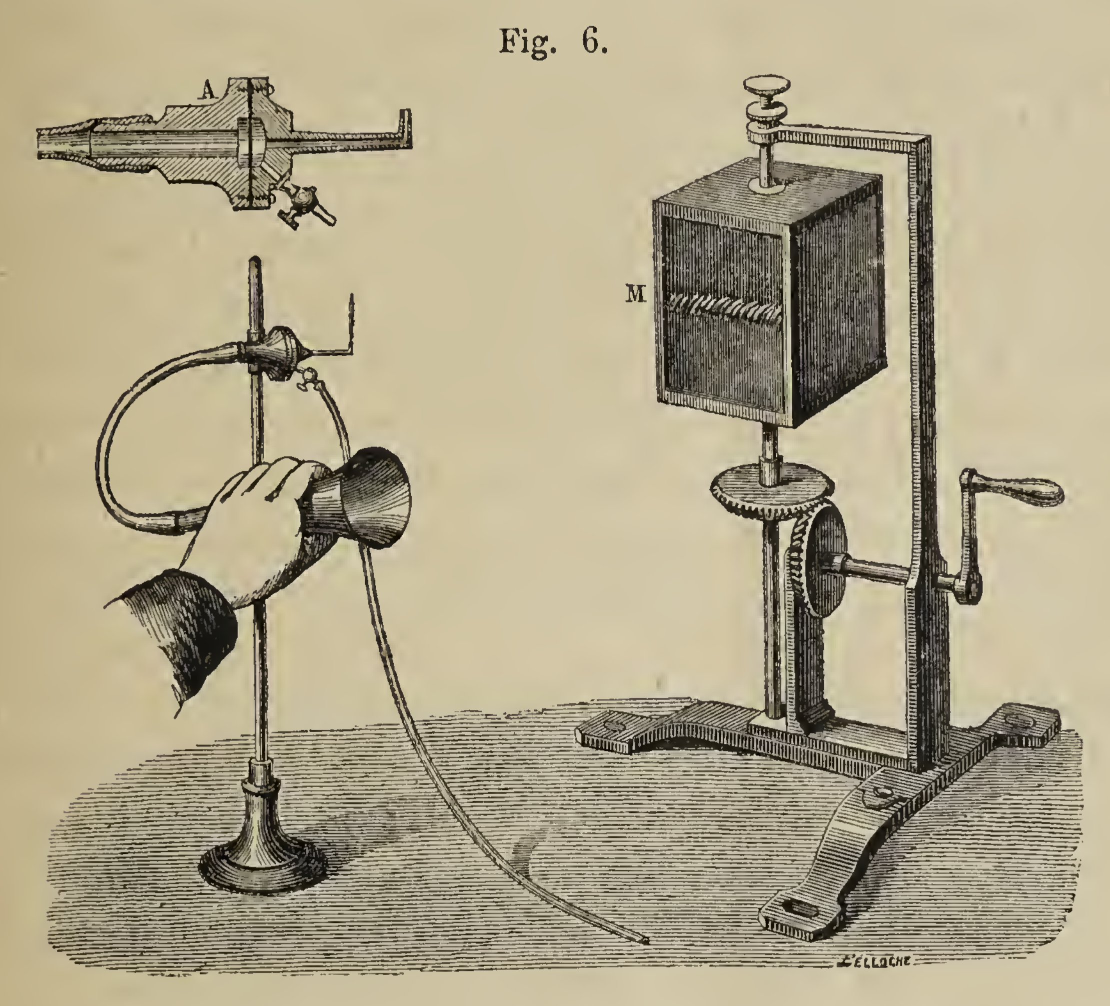
Die Untersuchung der durch Combination bekannter Töne erhaltenen Flammenbilder ist besonders darum nützlich, weil sie lehrt, dann auch aus Flammenbildern eines Tongemisches, dessen Zusammensetzung unbekannt ist, die einzelnen Töne herauszuerkennen, welche es bilden. Einen Uebergang zu der Untersuchung solcher Tongemische, wie z. B. jeder Klang eins darbietet, wird die Combination eines Grundtones mit einem vorher bekannten Oberton in derselben Luftsäule bilden.

Sehr gut eignet sich zu einem solchen Experimente die schon oben beschriebene gedeckte Orgelpfeife mit drei Flammen, da sich an ihrem Ende sowohl der Knoten des Grundtones, als auch ein Knoten des ersten Obertones befindet. Bläst man sehr schwach nur den Grundton (1) an, so zeigt das Flammenbild im Spiegel die Schwingungen dieses Tones, von denen jede einzelne sofort durch drei Flammen ersetzt wird, wenn man durch starkes Blasen den Oberton (3) ansprechen läſst. Bei etwas schwächerem Winde bilden sich dann beide Töne zugleich (1 : 3) und man sieht immer drei Flammengipfel über jeder Grundflamme (Fig. 5, Taf. II). Mehrere gleichzeitig in derselben Luftsäule bestehende Töne geben also genau dasselbe Flammenbild als die Combination der gleichen Töne, von denen jeder durch eine besondere Orgelpfeife hervorgebracht wird.

Darstellung der Klänge.

Der Apparat, welcher zur Darstellung der Klänge dient, besteht einfach in einer manometrischen Kapsel, vor deren Membrane sich ein kleiner Hohlraum befindet, der in eine kurze Röhre ausläuft (Fig. 6). In diesen Hohlraum nun müssen die Klänge, welche man darstellen will, mit möglichst geringem Verluste ihrer Intensität und ohne auf dem Wege eine Veränderung erlitten zu haben, geleitet werden.

Fig. 6.



Die Klangbilder sämmtlicher Töne desselben Instrumentes sind nie alle einander gleich, sondern die tiefsten Töne zeigen immer weit gröſsere und complicirtere Flammengruppen für jede einzelne Schwingung des Grundtones als die höheren, weil die hohen harmonischen Töne, welche sich im Klange der tieferen Töne des Instrumentes noch bemerken lassen, beim Steigen des Grundtones mehr und mehr verschwinden. Je höher nämlich ein Ton ist, desto kleiner sind auch verhältniſsmäſsig die Dimensionen des ihn hervorbringenden Mittels, die Schwingungen aller tongebenden Werkzeuge nehmen aber eine einfachere Form

an, wenn die Dimensionen der letzteren sehr klein werden, hauptsächlich, weil die verschiedenen Körper dann die Fähigkeit verlieren beim Schwingen Unterabtheilungen zu bilden, durch welche die Partialtöne, wenn auch nicht allein, so doch in sehr vielen Fällen hauptsächlich erzeugt werden. Ein zweiter Grund aber, der besonders geltend wird, wenn die Töne nicht sowohl durch die elastischen Schwingungen eines Körpers, als vielmehr durch Luftstöſse, wie bei der Sirene und den Zungenpfeifen, erzeugt werden, ist der, daſs solche Obertöne, welche sich im Klange eines tiefen Tones finden, für einen höheren Ton dann oft in eine so hohe Gegend der Scala gerathen, daſs sie nicht mehr, weder auf künstliche Membranen, noch auf das Ohr eine Wirkung äuſsern können. — Der tiefste Ton der Geige z. B. ist g (384 v. s.) und sein achter harmonischer Ton $\overline{\overline{\overline{g}}}$ (3072 v. s.) liegt noch im Umfange des Instrumentes selbst. Auf der G-Saite würde er durch eine Länge von 4, auf der E-Saite von etwa $13\frac{1}{3}$ Centimeter erzeugt werden. Nimmt man jedoch dieses $\overline{\overline{\overline{g}}}$ selbst als Grundton an, so dürfte die Saitenlänge seines achten harmonischen Tones auf der E-Saite nur noch etwa 17 Millimeter betragen und derselbe würde auſserdem bei 24,576 einfachen Schwingungen schon fast zwei Octaven über den höchsten in der Musik gebräuchlichen Tönen liegen, was genügend erklärt, daſs er im Klange des $\overline{\overline{\overline{g}}}$ nicht zu finden ist.

Die Geigenklänge darzustellen ist mir übrigens wegen der hohen Tonlage des Instrumentes nur sehr mangelhaft gelungen, indem ich, mit Ausnahme der Töne von g bis $\overline{c}$ auf der G-Saite, für alle anderen blos die Grundschwingungen erhielt. Bei meinen Versuchen, die Töne möglichst stark auf die Membrane zu leiten, wendete ich zwei Methoden an, indem ich einmal die innere Luftmasse der Geige durch einen Kautschukschlauch, den ich durch eins der F-Löcher in dieselbe eingeführt, mit dem kleinen

Apparate verband, und dann zweitens mein Stethoscop mit seiner gewölbten Membrane an den Boden der Geige, an der Stelle des Stimmstockes andrückte und seine Kautschukröhre am Flammenapparate befestigte. Die Resultate waren im letzteren Falle folgende.

Auf der G-Saite zeigte g die Figur der Octave in schwachen, wellenförmigen Flammen, welche sich bis zum h zu scharf gezeichneten und tief eingeschnittenen Flammen erhoben. Bei $\overline{c}$ fielen diese aber ganz plötzlich in eine einzige breite, niedrigere und verwaschene Flamme zusammen, an der man nur noch einen ganz geringen Rest der Octaven bei sehr starkem Anstreichen wahrnehmen konnte. Schon die D-Saite liefs nur noch einfache Flammenfolgen sehen, die für $\overline{d}$ $\overline{e}$ $\overline{f}$ $\overline{g}$ abgerundet, wellenförmig und schwach waren, aber beim Anstreichen des $\overline{a}$ plötzlich wieder stärker wurden. Das $\overline{a}$ auf der A-Saite gab sehr hohe und tiefgeschlitzte Flammen, $\overline{h}$ noch stärkere, welche aber plötzlich wieder bei $\overline{\overline{c}}$ fielen und ganz schwach wurden. Bis zum $\overline{\overline{g}}$ und $\overline{\overline{a}}$ auf der E-Saite verschwand jede Spur der kleinen Flammenzähnchen, welche die letzten hohen Töne noch erzeugt hatten.

Bei der Verbindung der Luftmasse mit dem Apparate ging das verschwommene Bild der Octave von g schon bei h in eine einfache, scharf gezeichnete Flamme über, welche bei $\overline{e}$ eine so aufserordentliche Höhe erreichte, als wäre sie durch die Schwingungen einer im Knotenpunkte mit einer Kapsel versehenen Orgelpfeife erzeugt worden. Der Ton $\overline{d}$ zeigte auch noch eine Reihe hoher und scharf gezeichneter Flammen, welche aber bei $\overline{e}$ wieder vollständig verschwunden, um den schwachen, abgerundeten Wellenlinien bis $\overline{a}$ Platz zu machen. — Dieses plötzliche Auftreten der sehr hohen Flammen in der Gegend von $\overline{c}$ erklärt sich durch den Umstand, dafs der tiefste Eigenton der Luftmasse bei der Geige gerade $\overline{c}$ ist. — Für die

höheren Töne erhielt ich dasselbe Resultat wie mit dem Stethoscop, d. h. die Töne $\overline{a}$ und $\overline{h}$ zeigten wieder beträchtlich stärkere Schwingungen als $\overline{e}$ $\overline{f}$ $\overline{g}$ und als die höheren $\overline{\overline{c}}$ $\overline{\overline{d}}$ $\overline{\overline{e}}$ usw., so daſs der zweite Eigenton der Luftmasse, oder vielmehr des ganzen Systems, welches die Geige bildet, in der Gegend von $\overline{a}$ und $\overline{h}$ zu liegen scheint.

In Bezug auf den Klang haben wir in diesem Falle allerdings nur den Uebergang aus der Figur der Octave in die des einfachen Tones sichtbar machen können, weit besser läſst sich aber dies allmälige Verschwinden der höheren Obertöne aus den musikalischen Klängen, wenn der Grundton derselben immer mehr erhöht wird, mit der Sirene nachweisen. Zu diesem Zwecke fange ich die Impulse über der freien Löcherscheibe vermittelst einer bogenförmigen Spalte auf, die sich in eine kleine Röhre erweitert, und genau über einen Theil der Löcher angebracht ist, und lasse dieselben auf die Flamme wirken, während ich durch mehr und mehr verstärkten Luftdruck die Scheibe von der geringsten bis zu ihrer gröſsten Rotationsgeschwindigkeit treibe. Es erscheinen dann bei den tiefsten Tönen im Spiegel sehr groſse und verschwommene Flammengruppen, welche sich gegen die Mitte der groſsen Octave schärfer gezeichnet zeigen und lange geschlitzte Wellen mit erst fünf, dann gegen *c* und *d* hin mit vier Flammengipfeln sehen lassen. Bis *g* und *a* sinkt die Zahl dieser Gipfel auf drei, bis $\overline{c}$ und $\overline{d}$ auf zwei, und bei $\overline{a}$ verschwindet die letzte Spur der Octave aus dem Klange, worauf dann bei allen noch höheren Tönen nur noch einfache Flammenbilder sichtbar werden.

Sehr wesentlich ändert sich das Resultat dieses Experimentes, wenn über der Löcherscheibe ein Resonanzkasten befestigt ist. Der Eigenton dieses letzteren verstärkt dann erst höhere harmonische Töne des Klanges, darauf die tieferen und zuletzt den Grundton selbst, was zur Folge hat, daſs die Flammengruppen nicht ganz allmälig und regelmäſsig mit der Höhe des Tones einfacher werden, son-

dern ziemlich plötzlich auftretende und wieder verschwindende Umwandlungen zeigen. So zeichnete der Klang einer Sirene, über deren Löcherscheibe ein Resonanzkasten angebracht war, der den Eigenton $\overline{\overline{c}}$ hatte, nachdem er bei langsamerer Drehung der Scheibe erst einige complicirte aber verschwommene Bilder hervorgebracht hatte, bei der Tonhöhe *c* angelangt, deutlich eine groſse dem Grundton zukommende Flamme mit vier Flammengipfeln, welche vom 4. Theiltone, der mit dem Eigenton des Resonanzkastens zusammenfiel, herrührten. Bei noch schnellerer Drehung der Scheibe vereinfachte sich dieses Flammenbild bis *f* zu einer ganz einfachen Flamme, so daſs der Theilton 3 in diesem Sirenenklange *f* vollständig fehlen muſste. Nachdem die Tonhöhe von *f* kaum überschritten war, erschien zwischen je zwei groſsen Flammen eine erst ganz kleine, aber vollständig scharf gezeichnete Flamme, die dann schnell an Gröſse zunahm und gegen $\overline{c}$ fast die Höhe der Hauptflammen erreichte, wo sich also wieder die Wirkung des Resonanzkastens als zweiter Theilton des Sirenenklanges bethätigte. Ueber $\overline{c}$ hinaus legte sich die etwas kleinere Flamme dann immer mehr an die gröſsere an, bis sie bei $\overline{a}$ in dieser vollständig verschwand, wonach wieder nur noch einfache Flammenreihen erschienen. Taf. II, Fig. 7.

Um den Klang bei diesen Experimenten recht stark auf die Kapsel wirken zu lassen, hatte ich den Resonanzkasten mit einer Röhre versehen und seinen inneren Raum direct mit dem kleinen Flammenapparate in Verbindung gesetzt. Diese Experimente, bei denen die Luftstöſse der Sirenen sich nicht sofort in der freien Luft verbreiten können, sondern ihren Weg erst durch einen Resonator zu nehmen gezwungen sind, der für alle Grundtöne des Klanges unverändert derselbe bleibt, geben ein anschauliches Bild von dem Vorgange bei der Bildung der Vocalklänge, denn bekanntlich ist die in der Mundhöhle enthaltene Luftmasse beim Aussprechen oder Singen dessel-

ben Vocals auf verschiedene Töne immer auf dieselbe Note gestimmt, so daſs der Mund also auf die im Kehlkopf erzeugten Luftwellen ganz ebenso wirken muſs, wie es der Resonanzkasten auf die Luftstöſse der Sirene thut. Dem ungeachtet zeigt die Reihe der Flammenbilder desselben Vocals, der auf die Töne zweier Octaven gesungen wird, nicht so sehr plötzliche Umwandlungen, wie man sie ohne nähere Prüfung zuerst erwarten sollte.

Um die Bilder der Vocale hervorzubringen, singe ich sie in ein kleines trichterförmiges Mundstück, welches mit dem Hohlraum vor der Membram durch einen kurzen Kautschukschlauch in Verbindung steht, dieselben gelangen auf diese Weise mit groſser Intensität bis zur Kapsel Fig. 6.

Für die Vocale *u o a e i* gesungen auf die Noten der beiden Octaven C bis $\bar{c}$ hatte ich die Bilder schon im Jahre 1867 entworfen und ausmalen lassen. Ich verfuhr dabei in folgender Weise. Um sicher zu seyn, daſs ich beim Uebergange von einem Tone zum anderen den Charakter des Vocals nicht änderte, prüfte ich mit der Stimmgabel immer erst den Eigenton der Mundhöhle; während ich dann in den Apparat sang, zeichnete ein Maler das im Spiegel gesehene Bild. Unabhängig von ihm zeichnete auch ich dasselbe, und wenn sich unsere beiden Zeichnungen gleich fanden, so wurden sie für die auszuführenden Bilder für gut angenommen, fanden sich Abweichungen, so wiederholte ich das Experiment, bis der betreffende Fehler gefunden war. Eine Kritik wurde aber an keines der erhaltenen Bilder angelegt, weil es mir vor allen Dingen darauf ankam, erst so treu als möglich die erhaltenen Figuren zu verzeichnen.

Die ausgemalten fünf Tafeln wurden leider für die Ausstellung zu spät fertig, doch zeigte ich sie 1868 auf der Naturforscherversammlung in Dresden vor. Wenn ich ihre Veröffentlichung seit jener Zeit bis jetzt hinausgeschoben habe, so liegt der Grund darin, daſs ich sie zuvor noch einer genaueren Revision unterwerfen wollte, wovon

mich aber leider immer der krankhafte Zustand meines Halses verhinderte, der mir diese anstrengenden Experimente nicht gestattete. Jetzt, da ich auf eine Besserung nicht mehr hoffen kann, habe ich die Bilder nochmals so gut es gehen wollte geprüft und gebe sie nun, wenn auch nicht als vollkommen richtig, so doch wenigstens als so genau als es mir gelingen wollte, dieselben zu verzeichnen. Diese Aufzeichnung selbst ist übrigens weit schwieriger, als man glauben sollte, besonders für die gröſseren Flammengruppen der tieferen Töne, nicht allein wegen der Flüchtigkeit der Bilder, sondern auch, weil die einzelnen Flammengipfel in denselben nicht immer aufeinander folgen, sondern oft zum Theil untereinander stehen, so daſs es aussieht, als wären verschiedene Flammengruppen ineinander, oder vielmehr eine zum Theil vor die andere geschoben. Diese Flammen aber, deren Hintergrund so zu sagen wieder von Flammen gebildet wird, entgehen sehr leicht dem Blicke, besonders wenn nicht die hinteren Flammen so hoch und die vorderen so niedrig sind, daſs die hellen Gipfel der letzteren sich auf dem blauen unteren Theile der anderen abheben. Man kann allerdings durch schnelleres Drehen des Spiegels alle Gipfel von einander sondern, dann ist aber wieder die ganze Gruppe wegen ihrer groſsen Länge und der starken Geneigtheit der Flamme schwer zu übersehen.

So unvollkommen diese Zeichnungen nun aber auch wegen des Mangels mancher Details seyn mögen, so geben sie doch, was die gröſseren Umrisse anlangt, recht getreu die Bilder wieder, welche man im Spiegel erhält. Wenn z. B. das Bild *A* auf *C* gesungen eine Gruppe zeigt, aus der eine sehr hohe, helle Flammen neben einer etwas niedrigen und sehr blauen hervorragt, denen beiden ein ganzer Berg von sehr regelmäſsig geschlitzten Flammengipfeln folgt, so ist es sehr möglich, daſs dieser Berg vielleicht in Wahrheit 9 Gipfel hat, während ich nur 8 gezeichnet habe, und es ist mir so vorgekommen, als überstiege die Zahl dieser Gipfel wirklich acht an Tagen, an

denen ich diesen sehr tiefen Ton stärker und reiner als gewöhnlich hervorbringen konnte, aber dieses ändert darum nicht den Charakter der ganzen Gruppen, welche man doch nie mit denen des *U*, *O*, *E* oder *I*, auf denselben Ton gesungen, verwechseln wird. In jedem Falle scheinen mir daher diese Bilder hinreichend genau, sowohl die groſse Verschiedenheit der Klangfarbe der fünf Vocale, welche auf denselben Ton gesungen werden, darzustellen, als auch die Art der Umwandlung der Flammenbilder desselben Vocals von einem Ton zum anderen zu zeigen. Dieses ist aber die Hauptsache und wohl auch überhaupt Alles, was man mit Sicherheit mit dem Apparate erzielen kann, denn gerade wegen seiner sehr groſsen Sensibilität wird man auf absolut richtige Bilder verzichten müssen. Die Details in den Gruppen ändern sich schon beträchtlich, nicht allein, wenn derselbe Vocal auf dieselbe Note von verschiedenen Stimmen gesungen wird, sondern auch, wenn dieselbe Stimme Vocal und Note mit verschiedener Intensität angiebt. Es reicht auch ein geringer Wechsel im Zustande der Stimme hin um in den Flammenbildern starke Veränderungen zu bewirken; so erhalte ich z. B., wenn mein Kehlkopf ermüdet ist, statt des für *U*, auf *e* gesungen, verzeichneten Bildes nur eine kleine Flamme und zwei gröſsere breite, welche letztere an die Stelle der zwei und zwei Flammen treten, die das Bild zeigt, und ähnliche Vereinfachungen erleiden dann auch alle anderen Klangflammengruppen.

Um nun zuerst zu sehen, welcher Einfluſs sich eigentlich von den festen Tönen der Mundhöhle auf die Flammenbilder erwarten läſst, will ich der Uebersicht wegen für jeden Vocal, gesungen auf jeden Ton der zwei Octaven von C bis $\overline{c}$, verzeichnen, welchem harmonischen Obertone der betreffende charakteristische Ton sich nähert und um wieviel Schwingungen er ihm nahe kommt.

Für *O*, *A* und *E*, nehme ich die von Helmholtz angegebenen charakterischen Töne $\overline{b}$, $\overline{\overline{b}}$ und $\overline{\overline{\overline{b}}}$ an, wogegen

ich für *U* und *J* abweichend von den früheren Bestimmungen durch Donders und Helmholtz die Töne b und $\overline{\overline{\overline{\overline{b}}}}$ gefunden habe, so dafs die fünf Hauptvocale alle um Octaven von einander abstehen und der charakteristische Ton des tiefsten Vocals, nämlich des *U*, mit dem tiefsten Ton zusammenfällt, den der Mund noch einigermafsen gut durch Resonanz zu verstärken im Stande ist. Es handelt sich bei der Bestimmung dieser Töne nicht um eine ganz absolut genaue Schwingungszahl; wenn ich also z. B. beim Aufsuchen der stärksten Resonanz der für das *U* eingestellten Mundhöhle immer fand, dafs sie zwischen 440 und 460 einfachen Schwingungen eintrat, so kann ich ebensowohl 448, wie 450 Schwingungen als charakteristischen Ton des *U* annehmen. Ich bemerke dieses hier besonders, weil ich in einer kleinen Mittheilung an die Pariser Akademie (25. April 1870) über die erwähnte neue Bestimmung der charakteristischen Töne des *U* und des *J* als runde Schwingungszahlen für *U*, *O*, *A*, *E*, *J*, 450, 900, 1800, 3600 und 7200 einfache Schwingungen angegeben habe, wogegen ich bei folgender Uebersicht und auch sonst immer die ebenso richtigen Zahlen 448, 896, 1792, 3584 und 7168 benutze, da zwar die ersteren leichter zu behalten sind, sich sonst aber an keinen gebräuchlichen Ton anlehnen, wogegen die letztgenannten Schwingungszahlen den siebenten Theilton von $\underline{C_1}$, C, c, $\overline{c}$ und $\overline{\overline{c}}$ bezeichnen ($\overline{c} = 512$ v. s.).

In der folgenden Tabelle enthält die erste Colonne den Vocal, die zweite die gesungene Note und die dritte und vierte die beiden Partialtöne des Klanges dieser Note, zwischen welche der charakteristische Ton des Vocals fällt, nebst der Angabe um wieviel Schwingungen der eine dieser Töne tiefer und der andere höher ist, als der Eigenton der Mundhöhle.

U 448						O 896				7	
	C	3 (*g*)	— 64	+ 64	4 $(\overline{c})$		C				
	D	3 (*a*)	— 16	+ 128	4 $(\overline{d})$		D	6 $(\overline{a})$	— 32	+112	7
	E	2 (*e*)	—128	+ 32	3 (*h*)		E	5 $(\overline{gis})$	— 96	+ 64	6 $(\overline{h})$
	F	2 (*f*)	—107	+ 64	3 $(\overline{c})$		F	5 $(\overline{a})$	— 42,6	+128	6 $(\overline{\overline{c}})$
	G	2 (*g*)	— 64	+ 128	3 $(\overline{d})$		G	4 $(\overline{g})$	—128	+ 64	5 $(\overline{h})$
	A	2 (*a*)	— 22	+ 192	3 $(\overline{e})$		A	4 $(\overline{a})$	— 42,6	+170,6	5 $(\overline{\overline{cis}})$
	H	1 (*H*)	—208	+ 32	2 (*h*)		H	3 $(\overline{fis})$	—176	+ 64	4 $(\overline{h})$
	c	1 (*c*)	—192	+ 64	2 $(\overline{c})$		c	3 $(\overline{g})$	—128	+128	4 $(\overline{\overline{c}})$
	d	1 (*d*)	—160	+ 128	2 $(\overline{d})$		d	3 $(\overline{a})$	— 32	+256	4 $(\overline{\overline{d}})$
	e	1 (*e*)	—128	+ 192	2 $(\overline{e})$		e	2 $(\overline{e})$	—256	+ 64	3 $(\overline{h})$
	f	1 (*f*)	—106,7	+ 234,6	2 $(\overline{f})$		f	2 $(\overline{f})$	—213,4	+128	3 $(\overline{\overline{c}})$
	g	1 (*g*)	— 64	+ 320	2 $(\overline{g})$		g	2 $(\overline{g})$	—128	+256	3 $(\overline{\overline{d}})$
	a	1 (*a*)	— 21,4	+ 405,2	2 $(\overline{a})$		a	2 $(\overline{a})$	— 42,6	+384	3 $(\overline{\overline{e}})$
	h			+ 32	1 $(\overline{h})$		h	1 (*h*)	—416	+ 64	2 $(\overline{h})$
	$\overline{c}$			+ 64	1 $(\overline{c})$		$\overline{c}$	1 $(\overline{c})$	—384	+128	2 $(\overline{\overline{c}})$

A 1792	C			14			E 3584	C	28
	D	12 $\overline{\overline{(a)}}$	— 64		+ 80	13		c	14
	E	11	— 32		+ 128	12 $\overline{\overline{\overline{\overline{(h)}}}}$		$\overline{c}$	7
	F	10 $\overline{\overline{(a)}}$	— 86		+ 85	11			
	G	9 $\overline{\overline{(a)}}$	— 64		+ 128	10 $\overline{\overline{(h)}}$	J 7168	C	56
	A	8 $\overline{\overline{(a)}}$	— 86		+ 128	9 $\overline{\overline{(h)}}$		c	28
	H	7	—112		+ 128	8 $\overline{\overline{(h)}}$		$\overline{c}$	14
	e			7					
	d	6 $\overline{\overline{(a)}}$	— 64		+ 224	7			
	e	5 $\overline{\overline{(gis)}}$	— 192		+ 128	6 $\overline{\overline{(h)}}$			
	f	5 $\overline{\overline{(a)}}$	— 85		+ 256	6 $\overline{\overline{\overline{(c)}}}$			
	g	4 $\overline{\overline{(g)}}$	— 256		+ 128	5 $\overline{\overline{(h)}}$			
	a	4 $\overline{\overline{(a)}}$	— 86		+ 341	5 $\overline{\overline{\overline{(cis)}}}$			
	h	3 $\overline{\overline{(fis)}}$	— 352		+ 128	4 $\overline{\overline{(h)}}$			
	$\overline{c}$	3 $\overline{\overline{(g)}}$	— 256		+ 256	4 $\overline{\overline{\overline{(c)}}}$			

Beim *U* nähert sich also der charakteristische Ton dem dritten Theilton des *D* und *E*, dem zweiten des *A* und *H* und den Grundtönen *a* und *h*, und in der That kann man in den Flammengruppen von *D* und *E* eine Gliederung in drei, in denen von *A* und *H* in zwei递 Haupttheile erkennen, wie auch die Flammenbilder von *a* und *h* das große Uebergewicht an Intensität des Grundtones über die Nebentöne zeigen.

Beim *O* kommt der charakteristische Ton keinem der Obertöne der gesungenen Klänge (*C* ausgenommen) näher als etwa um einen halben Ton, es zeigt sich daher seine Wirkung auch nur sehr wenig in den Flammenbildern. Bei *a*, wo er sich den zweiten und bei *d*, wo er sich dem dritten Obertone nähert, erkennt man wohl die Gliederung in zwei und drei Theile, aber aus den weit complicirten Gruppen von *A*, *F* und *D* läßt sich ein besonderes Hervortreten der Töne 4, 5 und 6 nicht herausfinden, was auch ganz natürlich ist, da die Luftmasse im Munde nur wenig wird zum Vibriren gebracht werden können, wenn ihre Stimmung, wie hier, um einen halben Ton vom Einklange mit dem erregenden an sich schon schwachen Tone abweicht.

Beim *A* nähert sich der charakteristische Ton keinem der Obertöne auf mehr als 32 v. s., ausgenommen bei *C* und *c*, wo er mit dem 14ten und 7ten Obertone zusammenfällt. Die Bilder von *C* und *c* lassen jedoch die Existenz des 14ten und 7ten Theiltones nicht erkennen, wahrscheinlich, weil diese Töne einer so hohen Ordnung in dem im Kehlkopf erzeugten Klange schon so schwach sind, daß sie die Luftmasse im Munde nicht mehr zu genügend starkem Mitschwingen bringen, um noch auf die Flammen wirken zu können.

Für die Vocale *E* und *J* liegen die charakteristischen Töne zu hoch um noch irgend eine Wirkung auf die Flamme äußern zu können, und so zeigt denn auch *E* auf $\overline{c}$ gesungen, nur ein Bild, welches einen Grundton, der mäßig von seiner Octave begleitet ist, darstellt, statt

einer Gruppe von sieben Gipfeln. *J* auf denselben Ton gesungen, läſst gar nur eine Reihe einfacher Flammen sehen, die einen einfachen Ton anzuzeigen scheinen. — Diese Einfachheit des Flammenbildes ist aber hier, wie bei allen Bildern des *J*, nur scheinbar. Die sehr breiten, groſsen und wenig zahlreichen Flammen, welche die verschiedenen Gruppen bilden, sind nämlich meistens ganze Flammenbüschel, welche bei nicht sehr starker Angabe des Tones allerdings wie einfache etwas verschwommen gezeichnete Flammen erscheinen, in denen man aber bei sehr starkem Tone, und besonders beim Ansatze desselben, oft eine Menge heller Punkte deutlich erscheinen sieht, welche das Vorhandenseyn sehr hoher Theiltöne anzeigen. — Das laute Singen des *J* ist übrigens sehr anstrengend und wird mir besonders in der Tiefe so schwer, daſs ich auch die Bilder für die Klänge von *C* bis *F* habe auf der Figur weglassen müssen.

Ich machte noch einen Versuch um zu sehen, ob das Flammenbild eine besondere Veränderung erleiden würde, wenn ich den Ton, statt vor dem Munde, im Hintergrunde desselben mit der Röhre auffing, und sang dabei *A* auf *f*, erhielt jedoch mit Ausnahme der verschiedenen Intensität in beiden Fällen das gleiche Resultat.

Die Vocale der Flüsterstimme brachten nur eine sehr geringe Wirkung auf die Flamme hervor. Der Lichtstreifen im Spiegel erschien unter ihrem Einflusse wie ein abwechselnd dunkler und heller gestreiftes Band mit unregelmäſsigen, kleinen Zacken, und das Ganze war so unbestimmt und verschwommen, daſs sich nicht einmal ein Unterschied zwischen den verschiedenen Vocalen erkennen lieſs.

Die Halbvocale *M* und *N* gaben so gleiche Bilder, daſs ich sie nicht von einander unterscheiden konnte. Ich habe dieselben für die Töne $\overline{e}$ *g* *e* *c* verzeichnet (Fig. 9, Taf. II); tiefere Töne lieſsen längere, aber verwaschene und unbestimmte Perioden sehen. Natürlich muſste ich bei diesen Experimenten die Nase statt des Mundes in die Trichteröffnung stecken.

Der Zitterlaut *R*, tonlos hervorgebracht, zeichnet eine Reihe Flammenberge von verschiedener Höhe, welche ziemlich regelmäſsig geschlitzt oder gezahnt sind. In dem kleinen drehenden Spiegel, den ich gewöhnlich anwende und dessen Platten 15^{ctm} Breite haben, schienen mir diese Berge ganz unregelmäſsig auf einander zu folgen, wogegen sich bei Anwendung eines gröſseren von 40^{ctm} Breite die vollständig regelmäſsige Periodicität der ganzen Gruppe ergab, welche sich in der Breite des Spiegels vier bis fünfmal wiederholte. Die Zähne, welche über sämmtliche Flammenberge fortlaufen, rühren von dem bloſsen Lichtstrome her. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, indem man die Zunge, statt sie am Gaumen vibriren zu lassen, nur wenig von demselben entfernt und durch die so gebildete Enge die Luft heftig aus dem Munde treibt. Der Flammenstreifen erscheint dann geschlitzt, ohne daſs sich einzelne Flammengipfel aus demselben erheben.

Läſst man bei der Angabe des *R* die Stimme mittönen, so setzt sich die Klangfigur der Stimme mit der des stummen *R* zusammen, und es entsteht eine so verwickelte Reihenfolge einzelner Flammen und ganzer Gruppen verschiedenster Höhe und Form, daſs es bei der Flüchtigkeit des Bildes schwer gelingen dürfte, dieselbe zu entwirren. Den Charakter des stummen *R* habe ich in Fig. 10, Taf. II wiederzugeben gesucht.

Die tonlosen *explosivae P*, *T* und *K* lassen sehr wohl ihren verschiedenen Charakter erkennen. Beim *P* erhebt sich die Flamme ganz plötzlich und steil bis zu einer bedeutenden Höhe über der geraden Linie, sie zeigt hintereinander zwei bis drei fast gleich hohe Elancements, auf welche denn einige abgerundetere und in der Höhe schnell abnehmende Berge folgen. Die hohen wie die niedrigeren Hauptbewegungen zeigen wieder wie beim *R* die durch den Luftstrom bewirkte Zahnung.

Beim *T* ist die Erhebung weniger plötzlich, nicht so hoch, und es fehlen auch die tiefen Einschnitte, welche

beim *P* im Anfange ein zwei- bis dreimaliges sehr schnelles und energisches Aufflammen erkennen lassen.

Beim *K*, dessen Articulationsstelle im Munde noch tiefer nach hinten liegt, ist auch noch weit weniger ein plötzlich starkes Aufzucken der Flamme zu sehen, sondern das Bild beginnt mit einer fast gleichmäſsig auf- und absteigenden Welle, auf die einige in ihrer Gröſse schnell abnehmende, von fast gleicher Form folgen. Die Zahnung des ganzen Bildes findet auch hier wie bei *P* und *T* statt.

Wenn man hintereinander öfters einen dieser Consonanten ausstöſst und dabei den Spiegel beständig dreht, so bekommt man nur selten das Bild gut zu sehen, es ist daher besser den Spiegel so zu stellen, daſs das Bild der Flamme sich gerade an einer Ecke befindet und bei einer kleinen Drehung desselben seine ganze Fläche durchlaufen muſs. Stöſst man den Consonanten nur im Augenblick aus, in welchem man diese Bewegung mit der Hand anfängt, so gelingt es fast immer gerade den interessantesten Theil, nämlich den Anfang des Bildes zu beobachten. Wollte man diese Experimente weiter verfolgen, so würde man vielleicht mit Nutzen einen Spiegel anwenden, der schief auf eine Axe aufgesetzt wäre, um die er gedreht würde, und der dann das Bild der Flamme statt in unterbrochenen Streifen, in einem zusammenhängenden Kreise erscheinen lieſse.

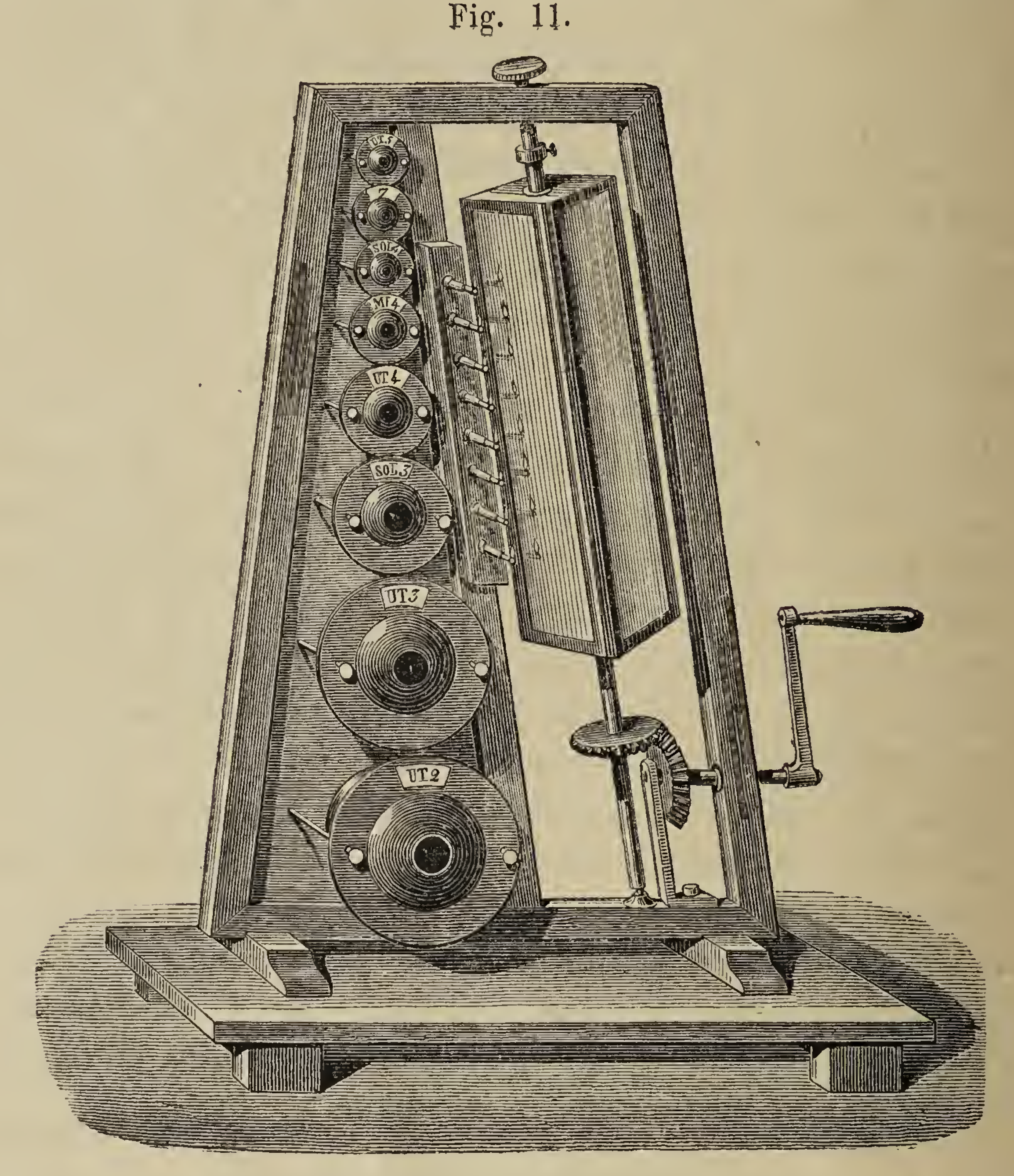
Die tonlosen Zischlaute *F*, *S* und *CH* geben ein ebenso ungenügendes Resultat, wie die Vocale der Flüsterstimme. Ich konnte aus den verwischten dunklen Stellen im Lichtstreifen nichts Bestimmtes heraussehen.

Zerlegung der Klänge in ihre einfachen Töne.

Dieselben Resonatoren von Helmholtz, welche zur Analyse des Klanges vermittelst des Ohres dienen, finden auch bei der sichtbaren Zerlegung der Klänge durch die Flammen ihre Anwendung. Ich construire zu diesem Zwecke einen Apparat mit acht auf die harmonischen Töne

von *c* gestimmten Resonatoren, von denen jeder mit einer manometrischen Flamme verbunden ist. Diese acht Flammen sind über einander in einer schrägen Linie angebracht und lassen in dem in gleicher Richtung befestigten drehenden Spiegel acht parallele Lichtstreifen sehen, wenn sie in Ruhe sind, und Wellenlinien, wenn sie vibriren

Fig. 11.



(Fig. 11). Natürlich muſs hier jede Flamme vollständig unabhängig von der andern seyn, jede Flamme darf nur dann vibriren, wenn der zu ihr gehörige Resonator durch einen Ton im Unisono erregt wird, und die nicht in der Resonatorreihe enthaltenen Töne müssen auf keine der Flammen irgend welche Wirkung äuſsern. Um nachzuweisen, daſs der Apparat diese Bedingungen erfüllt, bediene ich

mich gewöhnlich einer Reihe Stimmgabeln auf Resonanzkästen, welche, besonders einige Augenblicke nach dem Anstreichen, nahezu einfache Töne geben. Ich lasse erst Gabeln, die mit den Resonatoren im Einklang sind, einzeln ertönen und zeige, daſs sich immer nur die ihren Tönen zukommenden Lichtstreifen in Vibrationen auflösen, so daſs man durchaus mehrere einfache Töne angeben muſs, wenn mehrere Lichtstreifen gezahnt erscheinen sollen, und vermittelst einer nicht mit den Resonatoren im Einklang stehenden Stimmgabel weise ich nach, daſs ihr Ton, selbst bei beträchtlicher Stärke, auf die Flammen nicht einwirkt. Bei sehr groſser Intensität eines Tones kann es allerdings vorkommen, daſs derselbe durch die Resonatoren hindurch auf alle Flammen zugleich einwirkt, dieser Fall wird aber nie zu Irrthümern Anlaſs geben können, da, wenn er eintritt, alle Flammenreihen gleich erscheinen, während bei der Wirkung der Resonation die Anzahl der einzelnen Flammenwellen in den Reihen nach oben zu im Verhältniſs der Zahlen 1 : 2 : 3 usw. wächst und ihre Breite natürlich dabei auch im umgekehrten Verhältniſs abnimmt.

Wenn in dieser Weise die Natur des Apparates klar gemacht ist, so lasse ich vor demselben einen Klang ertönen, dessen Grundton *c* ist, und die gezähnt erscheinenden Lichtstreifen zeigen dann an, von welchen harmonischen Tönen der Grundton des Klanges begleitet ist, wie auch mit welcher relativen Intensität diese Töne existiren.

Streicht man vor dem Apparate das *g* der Geige an, für welchen Ton selbst derselbe keinen Resonator enthält, so vibrirt die Octave $\overline{g}$ sehr stark, und das $\overline{c}$ desselben Instrumentes löst zugleich mit der Flamme des Grundtones die der Octave ($\overline{\overline{c}}$) auf. Eine offene Orgelpfeife, von nicht sehr weiter Mensur, auf *c* gestimmt, versetzte, stark angeblasen, die ersten fünf Flammen in Schwingung, wobei der dritte Ton weit stärker vibrirte, als die Octave. Eine gedeckte Orgelpfeife mit demselben Grundton, lieſs die Duodezime sehr stark, und den Ton 5 nur sehr schwach

erscheinen. Eine durchschlagende Zunge ohne Schallbecher löste die ersten sechs harmonischen Töne mit ziemlich gleichmäſsig abnehmender Intensität auf.

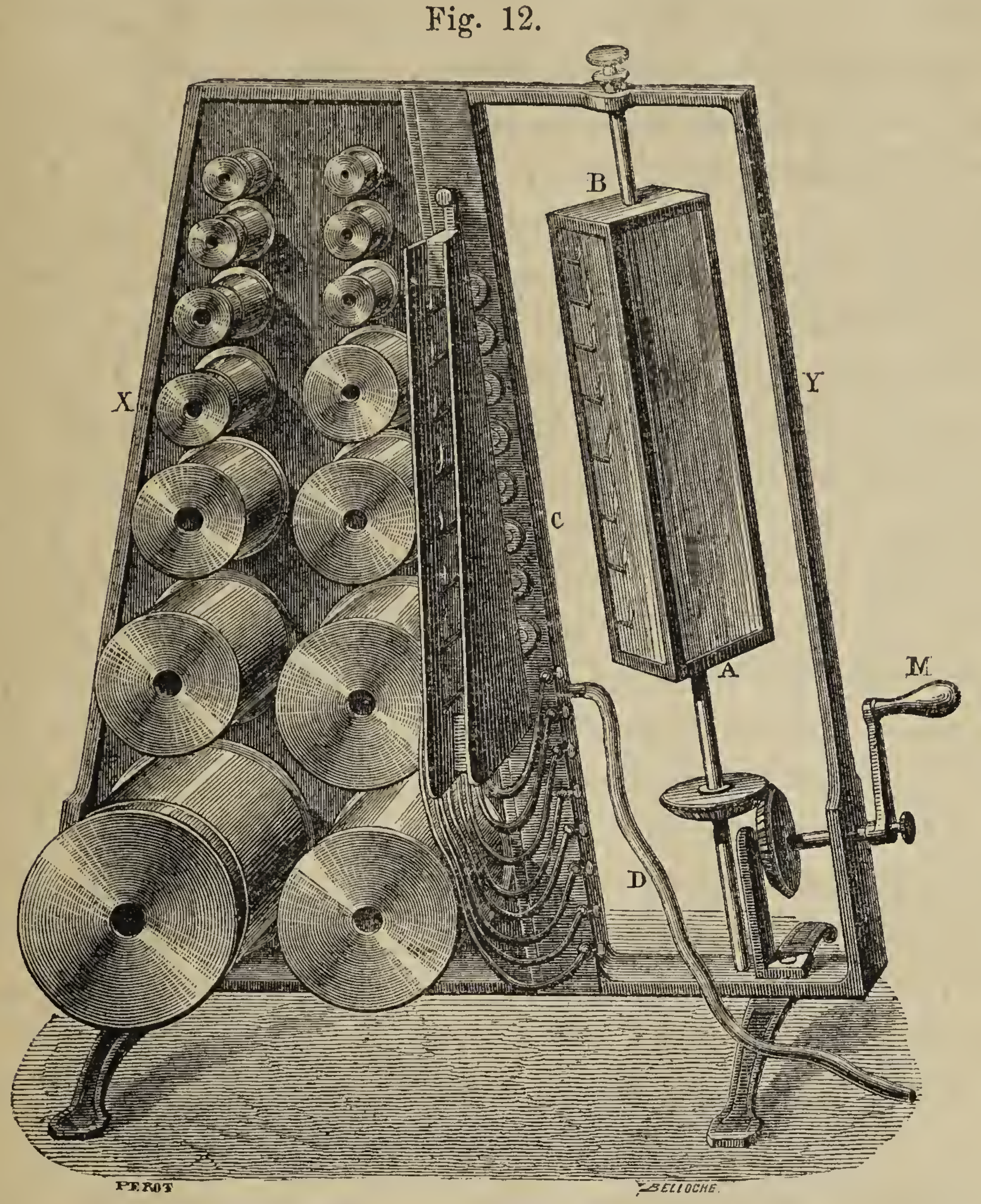
Beim Singen des *U* zeigt auſser dem Grundton die Octave ziemlich starke Schwingungen, und nur mitunter bemerkt man eine ganz geringe Wirkung auf den dritten Ton. *D* dagegen erregt die Flamme des dritten und vierten Tones sehr stark, während die Schwingungen der Octave schwächer sind, als beim *U*. Der fünfte Flammenstreifen ist beim *O* auch noch, aber nur schwach gezähnt. Beim *OA* rückt die Gegend der gröſsten Intensität noch höher, es sind der vierte und fünfte Ton, welche die tiefsten Einschnitte in dem Lichtstreifen zeigen, während die tieferen Töne schwächer geworden sind. Beim *A* lösen sich alle Flammen bis zur siebenten auf, und die vierte, fünfte und sechste schwingen besonders stark. Singt man *E*, so sieht man den Grundton schwach von der Octave begleitet und sehr stark von der Duodezime. Die Doppeloctave und ihre Terz zeigen Schwingungen mittlerer Intensität, und die siebente Flamme läſst auch noch Spuren von dem Daseyn des siebenten Tones erkennen. *J* auf *c* gesungen setzt auſser seinem Grundtone nur noch die Octave in sehr starke Bewegung, während alle anderen Flammen in Ruhe bleiben.

Die Resonatoren 7 und 8 ($\overline{\overline{\overline{c}}}$) des Apparates bringen schon schwer ihre Flammen zum Vibriren, die Töne müssen dazu ziemlich stark seyn. Es ist hier jedenfalls die Gränze, wo die Flammen überhaupt noch zweckmäſsig angewendet werden können.

Da dieser Apparat nicht gestattet den Grundton des zu zerlegenden Vocals oder sonstigen Klanges nach Belieben zu wählen, so eignet er sich mehr für die Demonstration, als zu weiteren Untersuchungen. Um ihn auch für die letzteren vollständig und zweckmäſsig herzustellen, habe ich ein zweites Modell construirt, bei welchem die acht Kugelresonatoren durch eine Reihe von 14 Univer-

salresonatoren ersetzt sind (Fig. 12). Diese Resonatoren bestehen aus einem Cylinder etwa von der Länge des Durchmessers, welcher von zwei ineinandergeschobenen

Fig. 12.



Röhren gebildet wird. Das äufsere dieser Röhrenstücke läuft an einem Ende in eine Halbkugel aus, in welcher die Röhre für das Ohr ausgetrieben ist, wie bei den Kugelresonatoren. Das entgegengesetzte Ende der inneren Röhre ist durch eine Platte verschlossen, in deren Mitte sich die Oeffnung für die Communication der eingeschlossenen Luftmasse mit der äufseren Luft befindet. Diese Disposition gestattet durch Ausziehen der Röhre die Luftmasse des Resonators zu vergröfsern und seinen Eigenton etwa um eine Terz herabzustimmen. Auf der

inneren Röhre sind die Linien verzeichnet, bis zu welchen man die äufsere für die verschiedenen Töne herauszuziehen hat. Die tieferen Resonatoren der Reihe sind so construirt, dafs der höchste Ton des gröfseren immer bis zum tiefsten des nächst kleineren reicht. Für die höheren würde dieses nicht ausgereicht haben, weil die sechsten, siebenten und achten Theiltöne schon so nahe aneinanderrücken, dafs man in den Fall kommen könnte, zwei von ihnen mit demselben Resonator bilden zu müssen, da also greifen die höchsten Töne der tieferen über die tiefen Töne der nächst höheren Resonatoren um einen ganzen Ton über, so dafs die einzelnen Resonatoren der ganzen Reihe folgende Töne enthalten: 1, *G*-*H*. 2, *H*-*dis*. 3, *dis*-*fis*. 4, *fis*-*a*. 5, a-$\overline{c}$. 6, $\overline{c}$-$\overline{e}$. 7, $\overline{e}$-$\overline{gis}$. 8, $\overline{gis}$-$\overline{\overline{c}}$. 9, $\overline{\overline{c}}$-$\overline{\overline{e}}$. 10, $\overline{\overline{d}}$-$\overline{\overline{f}}$. 11, $\overline{\overline{e}}$-$\overline{\overline{gis}}$. 12, $\overline{\overline{f}}$-$\overline{\overline{a}}$. 13, $\overline{\overline{gis}}$-$\overline{\overline{\overline{e}}}$. 14, $\overline{\overline{\overline{c}}}$-$\overline{\overline{\overline{d}}}$. Die Reihe der Obertöne für die Töne der beiden Octaven von *C*-$\overline{c}$ findet sich hiernach in den jedem derselben beigesetzten Resonatoren der folgenden Tabelle:

C — , 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	*c* — 2, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14,
D — , 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11	*d* — 2, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14,
E — , 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	*e* — 3, 6, 8, 9, 11, 13, 14,
F — , 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13	*f* — 3, 7, 8, 11, 12, 13,
G — 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11,	*g* — 4, 7, 9, 11, 13,
A — 1, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12,	*a* — 5, 8, 9, 12, 14,
H — 1, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13,	*h* — 5, 8, 11, 12,
	$\overline{c}$ — 5, 8, 11, 13.

Für die Grundtöne *C*-*F* fehlen die Resonatoren, man kann aber dann bis zum neunten Tone des Klanges beobachten. Für die Klänge *G*-*d* reichen die Resonatoren bis zum achten Tone, von da ab fangen die letzten zu fehlen an; bei *e* disponirt man nur noch über sechs, bei *f* über fünf und zuletzt bei $\overline{c}$ nur noch über drei Flammen für die Obertöne.

Obgleich, wie schon gesagt, auf jedem Resonator angegeben ist, wie viel er für die verschiedenen Noten ausgezogen werden mufs, so ist es doch gut, um sehr genaue

Resultate mit dem Apparate zu erhalten, besonders wenn der Grundton des zu untersuchenden Klanges nicht genau mit einer der verzeichneten Noten zusammenfällt, folgendes Verfahren anzuwenden, um den betreffenden Resonatoren die erforderte genaue Stimmung zu geben. Man stimmt eine Saite des Sonometers auf den Grundton des Klanges und bringt auf derselben die harmonischen Töne einen nach dem anderen hervor. Bei jedem setzt man dann den betreffenden Resonator, statt mit der manometrischen Kapsel, erst mit dem Ohre in Verbindung, indem man seinen Kautschukschlauch in dasselbe einführt, beim mehr oder weniger weiten Ausziehen ist es dann sehr leicht, die Stellung für die stärkste Resonanz zu finden.

Nachdem ich acht dieser Resonatoren die Stimmung von c und seinen Obertönen gegeben, wiederholte ich mit diesem Apparate dieselben Experimente, welche ich mit dem Kugelresonatoren-Apparate angestellt hatte und erhielt durchaus dieselben Resultate; es war nicht im geringsten zu bemerken, dafs die Sensibilität der Flammen hier schwächer gewesen wäre, so dafs mir in der That dieser Apparat zu genaueren und umfassenderen Untersuchungen über die Klänge im allgemeinen und besonders die der menschlichen Stimme im höchsten Grade geeignet scheint, wenigstens so weit sich diese nur bis zur Erforschung der die Klänge zusammensetzenden Töne erstrecken, welche nicht $\overline{\overline{\overline{c}}}$ überschreiten. Es ist aber dabei zu bemerken, dafs auch die directe Anwendung der Resonatoren mit dem Ohre nicht weit über diese Gränze mit Erfolg statthaben kann.

Leider habe ich mich jetzt überzeugt, dafs der Zustand meiner Stimme mir Untersuchungen in dieser Richtung, welche ich beabsichtigt, nicht gestattet, und so habe ich mich hier damit begnügen müssen, nur die Leistungsfähigkeit des Apparates nachzuweisen, wie ich es auch weiter unten wieder thun werde bei der Beschreibung der Methode, die Vocalklänge, oder auch andere, durch Elimina-

tion einzelner Partialtöne oder ganzer Reihen derselben zu untersuchen.

Interferenzerscheinungen.

Bei der Beschreibung der durch Combination der Töne zweier Orgelpfeifen erhaltenen Resultate habe ich nicht des Einklanges erwähnt. Die Combination zweier Unisonotöne gewährt nämlich ein ganz specielles Interesse wegen der Mittheilung der Schwingungen und der Interferenzerscheinungen, welche sich bei derselben beobachten lassen, woher ich es verzog, sie erst hier und im Zusammenhange mit anderen ähnlichen Experimenten zu beschreiben.

Setzt man zwei Orgelpfeifen, die mit einander im Einklange stehen, mit zwei Flammen in Verbindung und läſst nur eine ertönen, so zeigt die Flamme der anderen, daſs die in derselben eingeschlossene Luftsäule durch Communication in Mitschwingung versetzt ist, und diese Mittheilung der Schwingungen findet noch statt, wenn die Orgelpfeifen nicht mehr im genauen Einklang mit einander sind und also zusammen angeblasen Stöſse hören lassen. Es ist aber zu bemerken, daſs in diesem Falle in der influenzirten Pfeife sich nicht ihre Eigenschwingungen bilden, sondern nur Schwingungen, die genau unisono sind mit der influenzirenden, so daſs sich Stöſse weder hören, noch auch in der Flamme beobachten lassen. Bläst man aber auch die zweite Orgelpfeife an und erregt somit ihre Eigenschwingungen, so combiniren sich diese mit den Resonanzschwingungen, und die Flamme zeigt durch ihre heftigen Zuckungen Stöſse an, welche man auch deutlich vernimmt.

Ich mache auf dieses isolirte Auftreten der Resonanzschwingungen in der Luftsäule deshalb besonders aufmerksam, weil sich dasselbe bei den Influenzerscheinungen z. B. zweier auf demselben Resonanzboden gespannter Saiten nicht zeigt, sondern in der influenzirten Saite, auch ohne daſs sie selbst angestrichen oder angeschlagen ist, immer die Eigenschwingungen mit den Resonanzschwin-

gungen combinirt bestehen. Bekanntlich adaptiren sich die Stöfse zweier solcher, sich gegenseitig influenzirender Saiten in der Weise, dafs eine gerade das Maximum der Schwingungsweite erreicht, wenn die andere bei ihrem Minimum angelangt ist, und die Flammen der beiden sich influenzirenden Orgelpfeifen zeigen dasselbe Phänomen, indem die eine emporsteigt, während die andere niedersinkt, beide müssen dabei aber zugleich angeblasen werden, während man von den zwei Saiten nur eine zu erregen nöthig hat.

Beim vollständigen Einklang der Pfeifen, bei welchem sich ihre einzelnen Schwingungen in derselben Art gegenseitig adaptiren, wie es vorher die Stöfse thaten, d. h. so, dafs in dem Knoten der einen gerade Verdichtung der Luft eintritt, wenn in dem der anderen Verdünnung stattfindet, kann man den ganzen Vorgang deutlich vermittelst der beiden Flammen beobachten, wenn man sie in einer Verticallinie unter einander einstellt. Die Schwingungen beider Flammen zeigen sich ungeschwächt, ihre einzelnen Bilder im drehenden Spiegel sind jedoch in beiden Linien nicht unter einander, sondern alternirend.

Wirken beide Töne zugleich auf dieselbe Flamme, so zeigt diese bei den Stöfsen natürlich noch viel stärkere Zuckungen, als es die zwei Flammen thaten, da sie bei den letzteren durch direct erregte und influenzirte, also sehr ungleich starke Schwingungen in derselben Luftsäule, hier dagegen durch direct in zwei gleichen Luftsäulen hervorgerufen und also nahezu gleich starke Töne gebildet werden. Nähert man die beiden Töne allmälich dem Einklange, so bemerkt man, dafs man hier die Schwebungen nicht, wie etwa bei Stimmgabeln, nach Belieben verlangsamen kann, sondern bei einer gewissen Gränze verschwinden sie plötzlich und die beiden Luftsäulen schwingen wie ein System, d. h. wie zwei etwas ungleich gestimmte Körper, die so innig mit einander verbunden sind und daher gegenseitig so stark auf einander wirken, dafs keiner von beiden seinen Eigenton ungestört hervorbringen kann, was dann zur Folge hat, dafs nur ein einziger, zwi-

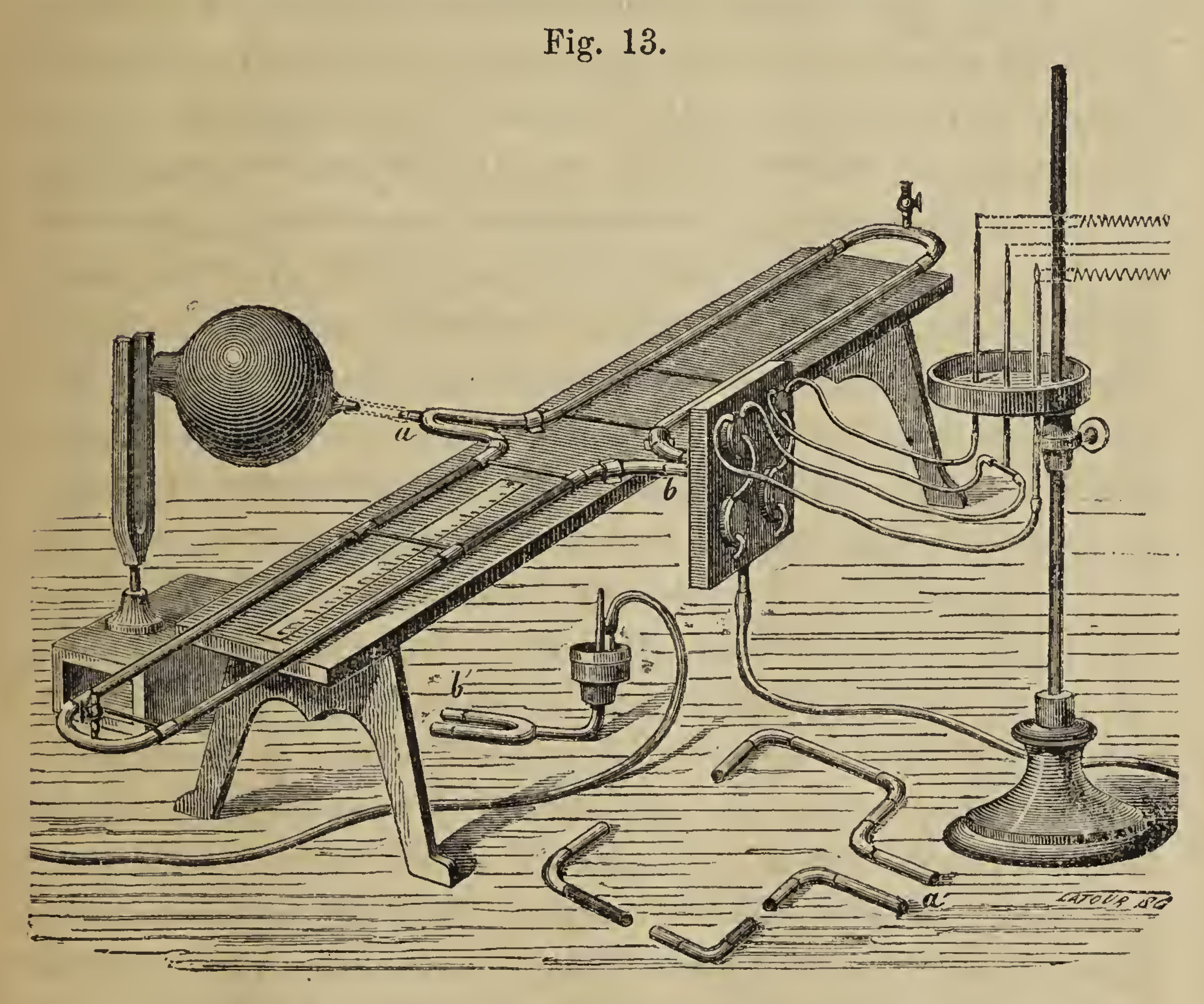
schen beiden liegender Mittelton entsteht. Dieser Ton ist stärker, als der einer einzelnen Orgelpfeife, und die Flamme zeigt dabei in ihrem Innern in der Mitte eine leuchtende Verengung, welche sich über einem nicht leuchtenden, blauen, breiteren Raume erhebt. Nähert man sich nun mehr und mehr dem reinen Einklange, so wächst die Höhe dieses dunkeln Raumes, die leuchtende Verengung verschwindet, und ist der Einklang ganz erreicht, so hat die Flamme das Aussehen angenommen, als wäre sie in Ruhe. Im selben Augenblicke ist dann aber auch der starke Grundton der Pfeifen fast gänzlich verschwunden und man hört den ersten Oberton deutlich hervortreten, da ja bekanntlich bei dem Gangunterschied einer halben Schwingungsperiode zweier gleicher Klänge im Unisono, während der Grundton und die ungeraden Obertöne zerstört werden, alle geraden Obertöne in beiden Klängen ohne Phasenunterschied schwingen und sich somit verstärken. Diese Octave läſst auch die Flamme im drehenden Spiegel erkennen, indem sie eine Reihe ganz niedriger, breiter Flammenbilder sehen läſst, von denen jedes einzelne gespalten erscheint. Man thut gut bei diesem Experimente einen etwas stärkeren Luftdruck anzuwenden, um die Intensität der Octave im Klange der Pfeifen dadurch zu vermehren.

Da dieses Hervortreten der Octave bei der Interferenz der Grundtöne zweier Klänge, sich auch besonders schön vermittelst der Doppelsyrene von Helmholtz nachweisen läſst, so stellte ich auch für diesen Fall das Phänomen durch die Flammen sichtbar dar. Ich versah zu diesem Zwecke jeden der beiden Resonanzkästen über den drehenden Scheiben mit einer Röhre, welche erlaubte ihren inneren Raum in directe Verbindung mit der zur Kapsel führenden Röhre zu setzen, und diese Verbindung stellte ich vermittelst Kautschukröhren her, so daſs der obere Windkasten der Sirene seine Beweglichkeit in den Gränzen beibehielt, um durch seine verschiedene Stellungen die Interferenz hervorrufen und wieder aufheben zu können. Immer, wenn man bei solcher Disposition den oberen

Sirenenkasten der Interferenzstelle nähert, sieht man dann die grofsen Schwingungen des Grundtones allmälich verschwinden und die kurze, gespaltene Flamme als Bild der Octave an ihre Stelle treten.

Ein besonderer Apparat, den ich für die Beobachtung der Interferenzerscheinungen verschiedenster Art construire, beruht auf der zuerst von Herschel angegebenen und nach ihm von vielen Physikern angewendeten Methode, Interferenz dadurch zu erzeugen, dafs man die von derselben Tonquelle kommenden Wellen zwei um eine Halbwelle verschieden lange Wege durchlaufen läfst und darauf wieder vereinigt. Er besteht aus einer Röhre, welche sich zwischen ihren Enden in zwei Arme verzweigt, von denen der eine durch Ausziehen beliebig verlängert werden kann (Fig. 13). Will man eine sehr vollständige In-

Fig. 13.



terferenz erhalten, so mufs man einen möglichst einfachen Ton in die Röhre einführen, indem man mit derselben einen Resonator verbindet, vor dem man die entsprechende

Stimmgabel tönen läſst. Verlängert man nun den einen der Arme bis der Längenunterschied beider der halben Wellenlänge des Tones der Stimmgabel gleich geworden ist, so zerstören sich die durch beide Leitungen kommenden Wellen am anderen Ende der Röhre, und läſst man dieses in einen kleinen Hohlraum münden, über welchem eine manometrische Kapsel angebracht ist, so sieht man beim Ausziehen des einen Röhrenarmes, wie die zuerst tiefgeschlitzte Flammenreihe im drehenden Spiegel sich allmälich in einen einfachen Lichtstreifen verwandelt, bis der Gangunterschied einer halben Wellenlänge erreicht ist. Noch schöner läſst sich die Interferenz vermittelst einer anderen Disposition darstellen. Statt die wieder zu einer einzigen Röhre vereinigten Arme auf eine Kapsel wirken zu lassen, bringe ich an den beiden Ausläufern der zwei Röhrenzweige einen kleinen Apparat an, der so eingerichtet ist, daſs nun jeder Zweig mit einer besonderen Kapsel in Verbindung steht. Diese beiden Kapseln, deren Wirkung auf einander durch zwei Hülfskapseln aufgehoben ist, sind mit zwei Gasausfluſsröhren, statt mit einer versehen. Auf einem Ständer befinden sich drei Brenner, welche in verschiedener Höhe befestigt werden und von denen der mittelste für die Aufnahme zweier Kautschukröhren eingerichtet ist. Ich verbinde nun eine Gasausfluſsröhre der einen Kapsel mit dem höchsten Brenner, eine der anderen Kapsel mit dem tiefsten, und durch die übrigbleibenden zwei Ausfluſsröhren setze ich beide Kapseln mit dem mittelsten Brenner in Verbindung. Lasse ich jetzt die Stimmgabeln bei gleicher Länge der Röhrenarme ertönen, so zeigen die drei Flammen im drehenden Spiegel drei gleich tief geschlitzte Flammenreihen über einander, von denen die mittelste allein beim Verlängern des einen Armes um eine halbe Wellenlänge des Tones in einen einfachen Lichtstreifen übergeht, während die beiden anderen Flammen mit unveränderter Intensität fortschwingen, so daſs man hier zugleich die Wirkung der Tonwellen überblickt, wenn sie durch den einen Arm

allein ankommen, wenn sie nur den zweiten allein durchlaufen haben, und auch, wenn sie nach dem Durchgang durch beide wieder vereinigt bis zur Flamme gelangen.

Wendet man bei diesen Experimenten als Tonquelle statt einer Stimmgabel mit Resonator eine offene Orgelpfeife von nicht zu groſser Weite an, so treten wieder während der Interferenz der Wellen des Grundtones die Schwingungen der Octave hervor. Wie den Grundton, so kann man auf jeden beliebigen Oberton aus einem Klange durch Interferenz entfernen, was sich sehr anschaulich vermittelst der oben beschriebenen gedeckten Pfeife nachweisen läſst. Ich führe den Klang derselben in den Apparat, indem ich nach Entfernung des Gasbrenners die an ihrem Ende befindliche Kapsel durch eine Kautschukröhre mit demselben verbinde. Ziehe ich dann die eine Röhre so weit aus, daſs für den Ton 3 die Interferenz eintritt, so zeigt die mittelste der Flammen im Spiegel die einfache Flammenreihe des Grundtones, während die beiden anderen das oben beschriebene aus der Combination der Töne 1 und 3 (Fig. 5, Taf. II) entstandene Bild sehen lassen. Ebenso kann man auch aus Vocalklängen verschiedene Obertöne oder vielmehr ganze Reihen derselben ausscheiden, was eine neue und sehr ergiebige Methode zur Untersuchung dieser Klänge abgiebt. Bei diesen Experimenten ist die Disposition mit den drei Flammen ganz besonders nützlich, weil die immer unverändert bleibenden Bilder der oberen und unteren Flamme die geringste Aenderung in dem der mittelsten genau wahrzunehmen gestatten. So z. B. zeigt *U* auf $\bar{c}$ in den Apparat gesungen, den Grundton nur sehr schwach von der Octave begleitet, stellt man den Apparat so ein, daſs die Wellen von $\bar{\bar{c}}$ interferiren, so verschwindet jede Spur dieser Octave, wogegen bei der Interferenz des Grundtones an die Stelle jeder breiten Flamme zwei schmale, fast gleich hohe treten, welche die jetzt fast allein bestehende Octave darstellen. Mit *O* auf denselben Ton gesungen, bei dem die

Octave weit stärker den Grundton begleitet, als bei *U*, kann man dieselben Experimente machen, nur tritt hier bei der Interferenz der Octave der Ton 3 hervor, indem die breite Flamme des Grundtones nun in drei absteigende Spitzen ausläuft. *A* auf $\overline{c}$ gesungen, läſst bei der Interferenz des dritten Tones die Octave neben dem Grundton stark hervortreten. Interferiren die Wellen der Octave, so erscheint eine Gruppe von fünf Flammengipfeln, welche auf die Töne 1, 3 und 5 hinzudeuten scheinen. Unterdrückt man den Grundton und somit auch die Töne 3, 5 usw., so erscheint eine einfache Flammenreihe, welche durch die Octave allein gebildet wird. Diese Erscheinungen sind jedoch keineswegs immer so einfacher Natur, wie in diesen Beispielen, wenn es sich um zusammengesetztere Flammengruppen der tieferen Klänge handelt, und so will ich z. B. darauf noch aufmerksam machen, daſs man beim Verlängern der einen Röhre des Apparates oft plötzlich ganz bedeutende Veränderungen im Flammenbilde eintreten sieht, während dieselbe sich zwischen den Interferenzstellen zweier auf einander folgender Obertöne des Klanges befindet. Es ist dieses dann die Interferenzstelle der tieferen Octave oder Duodezime eines höheren Obertones des Klanges, welcher auf diese Weise aus demselben ausgeschieden wird.

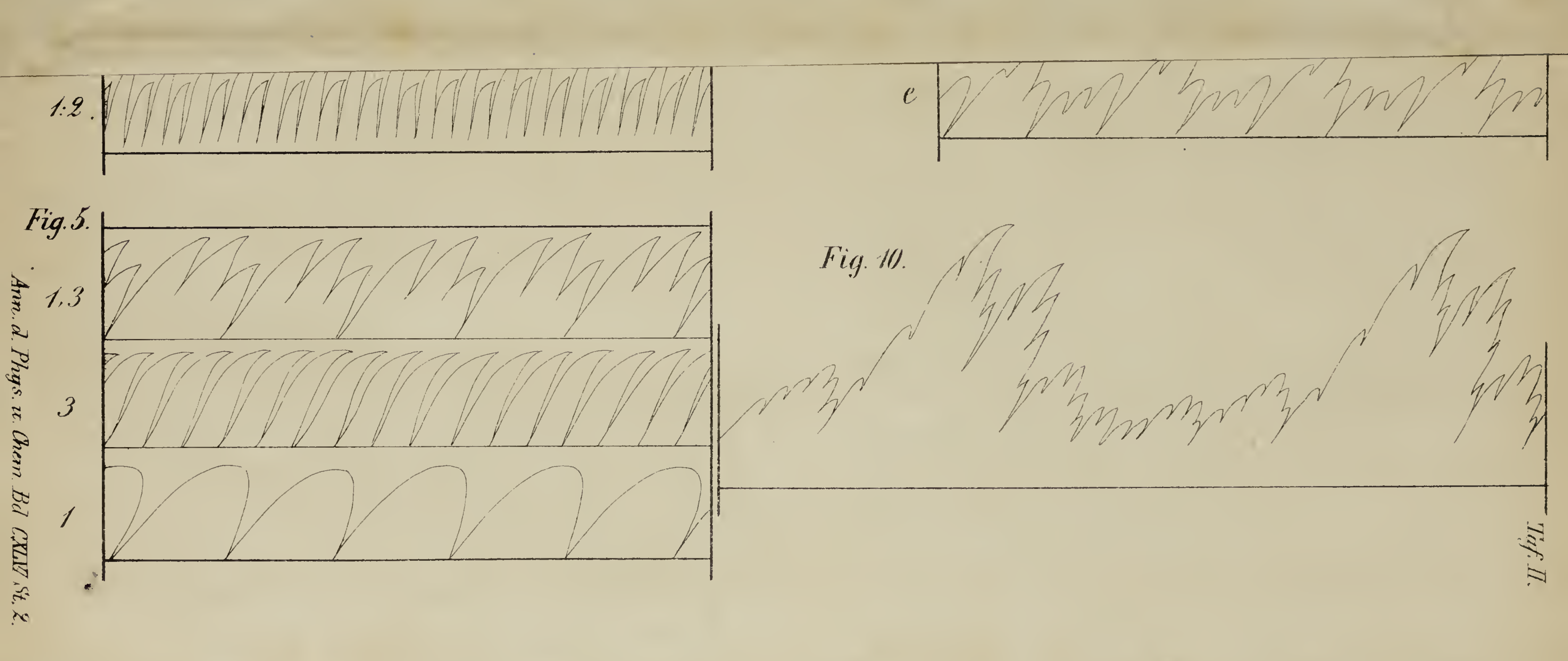
An Stelle des gabelförmigen Röhrenstückes, in welches bei allen vorhergehenden Experimenten der Ton oder Klang eingeführt wurde, kann man zwei einzelne Röhrenstücke aufsetzen, welche eine genau gleiche Länge und Form haben und von denen jedes aus drei in einander geschobenen und um sich selbst drehbaren Stücken besteht, so daſs man die beiden freien Oeffnungen an ihren Enden in jeder beliebigen Richtung bewegen kann ohne jemals ihre Länge oder die Form ihrer Krümmungen zu verändern. Diese Vorrichtung gestattet dann den Ton von zwei verschiedenen Stellen eines schwingenden Körpers in den Apparat einzuführen, z. B. von zwei mit entgegengesetzten

Zeichen schwingenden Feldern einer Platte oder von der gleichen Stelle aber den entgegengesetzten Flächen derselben, in welchen beiden Fällen dann beim Durchgang durch die zwei gleich langen Wege die Interferenz stattfindet und der Ton erst hervortritt, wenn man durch Ausziehen des einen Armes diese Interferenz zerstört.

Damit der Apparat auch zur Bestimmung der Wellenlänge eines Tones in verschiedenen Gasen und für die Experimente von Zoch dienen könne, habe ich die Leitung mit zwei Hähnen versehen, welche zur Füllung und Leerung derselben dienen sollen. Der Resonator kann natürlich, wenn man mit einem anderen Gase als der atmosphärischen Luft experimentirt, nicht in directer Verbindung mit dem Innern der Röhre bleiben, und man mufs daher in solchem Falle zwischen beiden einen kleinen Hohlraum einschalten, der in der Mitte durch eine dünne Membrane in zwei Hälften getheilt wird, von denen die eine mit der Leitung, die andere mit dem Resonator zu verbinden ist. Aufserdem hat man denn auch Kautschukringe über die Enden der Röhrenstücke zu ziehen, welche nur über einander geschoben sind, damit das Gas nicht an diesen Stellen entweichen kann.

Dafs dieser Apparat schliefslich auch die directe Beobachtung der verschiedenen Interferenzphänomene mit dem Ohre und somit die Wiederholung der Experimente von Mach, Quincke u. A. gestattet, versteht sich wohl von selbst. Man hat zu diesem Zwecke eben nur an Stelle des Flammenapparates das eine der gabelförmigen Röhrenstücke zu setzen und dieses durch eine Kautschukröhre mit dem Ohre zu verbinden.




1:2.
e
Fig. 5.
1,3
3
1
Fig. 10.

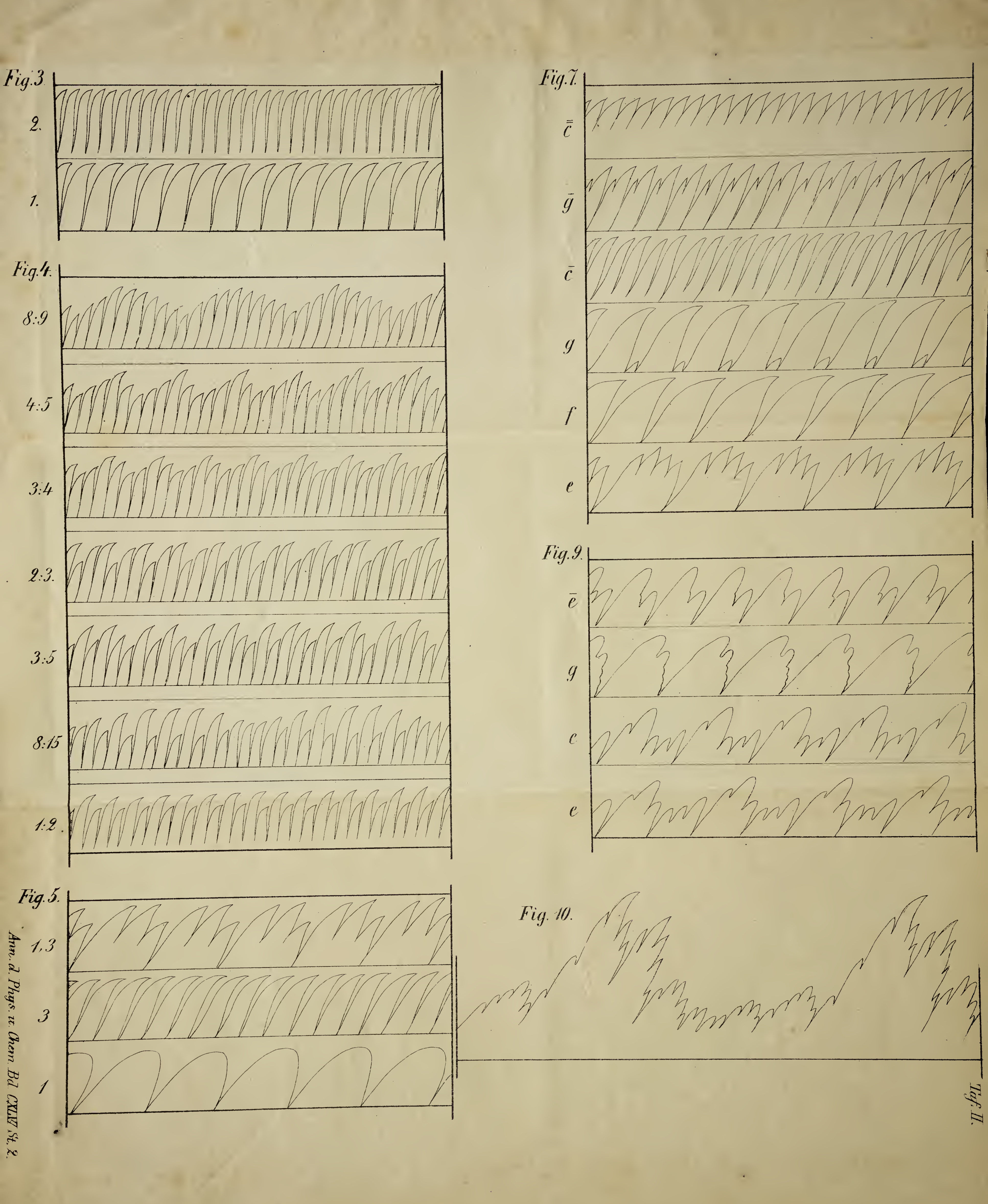

Fig. 3.
2.
1.
Fig. 4.
8:9
4:5
3:4
2:3.
3:5
8:15
1:2.
Fig. 5.
1,3
3
1
Fig. 7.
$\bar{\bar{c}}$
$\bar{g}$
$\bar{c}$
g
f
e
Fig. 9.
$\bar{e}$
g
c
e
Fig. 10.

Fig. —

Taf. III.

Not	J. Characteristischer Ton = 1168 v. s.
$\bar{c}$	
h	
a	

Fig. 8.

Taf. III.

Flammenbilder der Vocale U, O, A, E, J gesungen auf die Noten der zwei Octaven von C bis c̄.–

(Natürliche Grösse der Flammen zwischen 3 und 4 Centimeter.)

Noten.	U. Characteristischer Ton = 448 v. s.	O. Characteristischer Ton = 896 v. s.	A. Characteristischer Ton = 1792 v. s.	E. Characteristischer Ton = 3584 v. s.	J. Characteristischer Ton = 7168 v. s.
c̄					
h					
a					
g					
f					
e					
d					
c					
H					
A					
G					
F					
E					
D					
C 128 v. s.					

Alb. Schütze Lith. Inst. Berlin.





Bei **Joh. Ambr. Barth**

Bering (H.), **Kurze Anleitung zur Ausführung maassanalytischer Untersuchungen** für Fabrikanten, Berg- und Hüttenmänner, Chemiker, Metallurgen, Münzbeamte, Agronomen, Aerzte, Pharmaceuten u. s. w. bearbeitet. Nebst Tabellen und 21 in den Text gedruckten Holzschnitten. 8. geh. . . . . 20 Ngr.

Erdmann (O. L.), **Lehrbuch der Chemie.** 4te völlig umgearbeitete und vermehrte Auflage. gr. 8. geh. . . . . 2 Thlr. 6 Ngr.

——— **Ueber das Studium der Chemie.** 8. . . . . 10 Ngr.

——— **Grundriss der allgemeinen Waarenkunde.** Zum Gebrauche für Handels- und Gewerbsschulen, sowie zum Selbstunterrichte entworfen. 7te umgearbeitete und vermehrte Auflage von R. König. Mit eingedruckten Holzschnitten. gr. 8. geh. . . . . . 1 Thlr. 21 Ngr.

——— **Gasprüfer.** Nebst 1 Steindrucktafel. gr. 8. geh. . . 3 Ngr.
[Aus dem Journal für praktische Chemie Bd. LXXX besonders abgedruckt.]

Fleischer (E.), **Die Titrirmethode als selbstständige quantitative Analyse.** In 8. geh. . . . . 1 Thlr. 10 Sgr.

Haidinger (W.), **Anfangsgründe der Mineralogie.** Zum Gebrauche bei Vorlesungen. Nebst 15 Kupfertafeln. gr. 8. . . 2 Thlr. 9 Ngr.

Kolbe (H.), **Erprobte Laboratoriums-Einrichtungen.** Mit 1 Steindrucktafel. 1871. gr. 8. geh. . . . . 6 Ngr.

——— **Moden der modernen Chemie.** 1871. gr. 8. geh. . . 5 Ngr.

Marchand (R. F.), **Chemische Tafeln zur Berechnung der Analysen.** Nach den neuesten Bestimmungen entworfen. gr. 8. geh. 24 Ngr.
[Aus dem Journal für praktische Chemie Bd. XXXIX besonders abgedruckt.]

Müller (C. G.), **Die trockene Destillation** und die hauptsächlichsten auf ihr beruhenden Industriezweige. gr. 8. geh. . . . . . . 22½ Ngr.

Naumann (C. F.), **Grundriss der Krystallographie.** Mit 3 Kupfertafeln. gr. 8. 2 Thlr.

Plattner (C. F.), **Die Probirkunst mit dem Löthrohre** oder Anleitung, Mineralien, Erze, Hüttenprodukte und verschiedene Metallverbindungen mit Hülfe des Löthrohrs qualitativ auf Silber, Gold, Kupfer, Blei, Wismuth, Zinn, Kobalt, Nickel und Eisen zu untersuchen. 3te grösstentheils umgearbeitete und verbesserte Auflage. Mit 78 in den Text gedruckten Holzschnitten. gr. 8. geh. . . . . 4 Thlr.

Poggendorff (J. C.), **Biographisch-literarisches Handwörterbuch** zur Geschichte der exacten Wissenschaften, enthaltend Nachweisungen über Lebensverhältnisse und Leistungen von Mathematikern und Astronomen, Physikern, Chemikern, Mineralogen, Geologen u. s. w. aller Völker und Zeiten. 2 Bände. Lexikonformat. geh. . . . . 13 Thlr. 10 Ngr.

Reichenbach (K.), **Beiträge zur näheren Kenntniſs der trockenen Destillation.** Das Kapnomor. gr. 8. geh. . . . . . . 4½ Ngr.

——— **Das Kreosot** in chemischer, physikalischer und medicinischer Beziehung. 2te mit Nachträgen und Zusätzen von Schweigger-Seidel vermehrte Ausgabe. gr. 8. geh. . . . . 2 Thlr.

Rose (H.), **Handbuch der analytischen Chemie.** 6te Auflage. Nach dem Tode des Verfassers vollendet von R. Finkener.
I. Band: Qualitative Analyse. **II. Band:** Quantitative Analyse. zusammen 7 Thlr.

Volhard (J.), **die Begründung der Chemie durch Lavoisier.** 1870. gr. 8. geh. . . . . 10 Ngr.

Wolf (E. Th.), **Chemische Forschungen auf dem Gebiete der Agricultur** und Pflanzenphysiologie. Ein Supplementband für die Lehrbücher der Agriculturchemie, physiologischen Chemie und der rationellen Landwirthschaft. Mit sorgfältiger Benutzung der Original-Abhandlungen und Schriften ausgearbeitet. gr. 8. geh. . 2 Thlr. 15 Ngr.